



**UNISINOS**

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
MESTRADO ACADÊMICO

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA FORMA DOS GRÃOS NAS  
PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DAIANA CRISTINA METZ ARNOLD

SÃO LEOPOLDO  
2011

Daiana Cristina Metz Arnold

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA FORMA DOS GRÃOS NAS  
PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UNISINOS como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador:  
Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak

São Leopoldo  
Abril/2011

A753a Arnold, Daiana Cristina Metz  
Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das  
argamassas / Daiana Cristina Metz Arnold. -- 2011.  
185 f. : il. ; 30cm.

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Vale do Rio dos  
Sinos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São  
Leopoldo, RS, 2011.

Orientador: Claudio de Souza Kazmierczak.

1. Engenharia civil. 2. Forma do grão. 3. Areia de britagem. 4.  
Areia AN. 5. Argamassa - Propriedade. I. Título. II. Kazmierczak,  
Claudio de Souza.

CDU 624

Catálogo na Publicação:  
Bibliotecária Eliete Mari Doncato Brasil - CRB 10/1184

**DAIANA CRISTINA METZ ARNOLD**

**“ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA FORMA DOS GRÃOS NAS  
PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS”**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Gerenciamento de Resíduos, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Aprovada em 29 de abril de 2011

*Claudio SK*

Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak  
Orientador

*Claudio SK*

Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak  
Coordenador do PPGEC/UNISINOS

BANCA EXAMINADORA

*Marlova Piva Kulakowski*

Prof. Dra. Marlova Piva Kulakowski – UNISINOS

*Elton Bauer*

Prof. Dr. Elton Bauer – UnB

Dedico este trabalho, a todas as  
pessoas que me auxiliaram com seus  
exemplos de vida, carinho e apoio.  
Meu esposo Rafael, meus pais Luiz  
Carlos e Nelli e minha irmã Andréa.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, ser supremo, no qual me apoiei nos momentos difíceis, busquei forças para superar os obstáculos, e vontade para concluir este trabalho.

Durante todo o processo da elaboração deste trabalho, muitas pessoas se fizeram presentes dedicando momentos das suas vidas e contribuindo de alguma forma para a finalização da minha pesquisa, à estas pessoas dedico todos os meus agradecimentos.

Meu orientador professor Dr.º Claudio de Souza Kazmierczak que, apostou na minha capacidade para desenvolvimento do trabalho, esclareceu as dúvidas geradas no decorrer da pesquisa, disponibilizou do seu tempo para direcionar o meu foco principal. Compartilhou seus conhecimentos e desta forma orientou o caminho percorrido, facilitando minha compreensão, impulsionando a conclusão de toda minha pesquisa.

Professores do Mestrado um agradecimento especial, Jane, Carlos Moraes, Feliciane, Andréa, Luciana Gomes, Luis Miranda, Marco Aurélio e Marlova que compartilharam pacientemente o seu vasto conhecimento permitindo avanços não só no desenvolvimento do trabalho, mas na vida pessoal.

Professor Walter, responsável pelo laboratório de Engenharia Mecânica, agradeço por ter disponibilizado os funcionários e os equipamentos para realização da pesquisa.

Aos colegas do Laboratório da Engenharia Mecânica da Unisinos, Jacson, pelo desenvolvimento dos equipamentos para a realização da pesquisa. Ao Roque, pela manutenção e elaboração de novos equipamentos e aos bolsistas da Engenharia Mecânica que me auxiliaram no decorrer destes dois anos.

Aos colegas que disponibilizaram o seu tempo e vontade, me auxiliando de maneira direta na pesquisa. Adriano (Pão) que realizou as medições da retração dos corpos de prova de argamassa, Jonas (Doquinha) do laboratório de metalografia física e Quisi bolsista de iniciação científica que ajudaram na análise das imagens dos grãos. Ao bolsista Jeferson e a colega e amiga Angélica que participaram do peneiramento, lavagem dos agregados e execução dos ensaios tanto no estado fresco quanto endurecido acompanhando minhas dificuldades e a minha trajetória dentro dos laboratórios. Aos bolsistas Rafael e Nicole pela ajuda na marcação das fissuras, peneiramento de agregados, lavagem e limpeza de equipamentos.

Ao professor Francisco da Geologia e aos colegas Lauro, Antônio, Guerreiro, João e Ariel, pelo apoio na identificação mineralógica dos agregados e pela cordialidade.

Agradeço aos fornecedores dos materiais utilizados nos ensaios. Emerson que forneceu amostras de agregado miúdo e cimento, ao Sr. Rogério Scherer que forneceu a cal.

Muitos amigos conquistei durante o desenvolvimento do meu trabalho e se fizeram presentes de maneira a me auxiliar, entre eles cito Maurício (barrigudinho) e Rodrigo (birô), por todo o carinho e trabalho despendido para a conclusão da minha pesquisa. Maurício obrigada pelo assentamento dos blocos, chapisco realizado nas paredes, revestimento argamassado e pela qualidade do seu serviço. Guris, obrigada por todos os esforços físicos e quase sobre humanos que vocês desempenharam nas atitudes de colegas e amigos, participando ativamente das minhas angustias, medos, e principalmente das minhas conquistas.

Aos colegas do mestrado, Adriana (Adri), Miriane (Miri), Daiane (Daia), Rosângela (Rô), Alessandra Cavalheiro, Alessandra (Ale), Michele (Mi), Ândrea, Andressa, Paulo, Lucas, Humberto e Diego que no decorrer do curso estivemos sempre juntos nos trabalhos e apesar de termos nos afastado na fase da dissertação foi muito bom tê-los como amigos. Parabéns a todos por mais essa etapa na vida de cada um de vocês.

A toda a minha família que sempre acreditou na minha capacidade, em especial aos meus pais Luiz Carlos e Nelli, que nunca mediram esforços para me proporcionar a educação, sempre me dando apoio. Agradeço a Deus por ter sido agraciada como filha de vocês! Amo vocês!

A minha irmã pelo incentivo e dedicação.

Ao meu esposo, amigo e companheiro Rafael que foi em você onde busquei força, alegria e amor para seguir em frente. Foi você que me levantou nos momentos em que estava cansada física e mentalmente achando que não conseguiria concluir. Sempre me apoiando. Amo muito você!!!

A todos os meus amigos e familiares que estiveram sempre presentes e a todos que de alguma forma fizeram parte desta etapa da minha vida.

### **AGENTES FINANCIADORES**

Universidade do Vale do Rio dos Sinos na forma de bolsa de qualificação para funcionário.

FINEP – Financiadora de estudos e projetos.

## RESUMO

### ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA FORMA DOS GRÃOS NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

**Daiana Cristina Metz Arnold**

A construção civil é um setor industrial que provoca elevado impacto ambiental, devido ao grande consumo de matéria-prima. Em função da crescente restrição da extração de areias dos rios e a escassez de areias naturais, com conseqüente elevação de seu custo, a utilização de areia proveniente da britagem de rochas na construção civil tem se tornado cada vez mais comum nos grandes centros urbanos. A utilização deste tipo de areia, fazendo-se uso de procedimentos e equipamentos adequados, pode ser uma alternativa viável para substituição da areia proveniente dos depósitos aluvionares de rios na produção de argamassas de revestimento de alvenarias. Este estudo apresenta e discute as características tecnológicas de três tipos de agregados miúdos com diferentes formas de grãos: uma areia de leito de rio (areia aluvionar) e duas areias de britagem de rocha basáltica, produzidas através de diferentes britadores, e avalia o comportamento de argamassas produzidas com estas areias. As diferenças entre os processos de obtenção resultam em diferenças na distribuição granulométrica, forma e textura superficial dos grãos, alterando o comportamento de argamassas fabricadas com estes agregados. As propriedades de uma argamassa de cimento, cal e areia dosada para a areia de rio foram comparadas com argamassas com o mesmo traço, substituindo-se a areia de rio pelos outros agregados miúdos, e o mesmo procedimento foi realizado para diferentes teores de adição de fíler à argamassa. Utilizou-se cimento CP II Z- 32 e cal CH-I, sendo produzidas vinte misturas de argamassas, oito com areia de britagem passante pelo britador VSI, quatro com areia de britagem passante pelo britador de mandíbulas e oito com areia de rio, no traço de volume em cimento, cal e areia, 1:1:6, com índice de consistência fixado em  $260\text{mm} \pm 5\text{mm}$  na mesa de consistência. As propriedades determinadas no estado fresco são o índice de consistência, a reologia (squeeze flow e penetração de cone), o teor de ar incorporado, a retenção de água e a densidade de massa. Foram determinadas a densidade de massa, a resistência à compressão e à tração na flexão, a absorção de água por capilaridade, o coeficiente de capilaridade, a absorção de água total, o índice de vazios, a massa específica real, a retração linear e o módulo de elasticidade dinâmico no estado endurecido. Para os ensaios em revestimentos foram utilizados substratos com dois diferentes teores de absorção de água, sendo determinada a resistência de aderência do revestimento e o grau de fissuração. Observou-se diferenças expressivas no comportamento das argamassas confeccionadas com os diferentes agregados, como: perda de trabalhabilidade; perda de densidade de massa; redução da resistência à compressão e da resistência à tração na flexão; diminuição do módulo de elasticidade dinâmico; aumento da absorção de água por imersão; aumento do índice de vazios; e aumento da massa específica. Em função das diferenças morfológicas e das diferenças no teor de fíler na mistura.

**Palavras chave:** forma do grão, areia de britagem; areia de rio; propriedades de argamassas.

## **ABSTRACT**

### **INFLUENCE OF AGGREGATE PARTICLE SHAPE ON MORTARS PROPERTIES**

**Daiana Cristina Metz Arnold**

The construction industry causes high environmental impact due to large consumption of raw materials. Due to the restriction of sand extraction and the reduction of natural sand, with a consequent increase in cost, the use of crushed fine aggregates in construction has become increasingly common in large urban centers. The use of crushed fine aggregates made with appropriate procedures and equipments can be an alternative to replace the sand extracted of rivers for the production of rendering mortars. This paper discusses the technical characteristics of three different aggregates with distinct morphologies: the natural sand (alluvial sand) and two basalt crushed fine aggregates, produced by different crushers, and evaluate the behavior of mortars produced from these sands. Differences in particle size, shape and surface texture of the grains changes the behavior of mortars made with this aggregates. The properties of a reference mortar made with river sand was compared with others, replacing the river sand aggregate by crushed aggregates, and the same procedure was performed for different levels of addition of fillers in the mortar. Brazilian CP II Z-32 cement and CH-I lime were used for production of twenty mortars: eight with VSI crushed aggregates, four with jaw crushed sand mortars and eight with natural sand. The 1: 1: 6 (cement, lime and sand by volume) proportion was adopted, with consistency index of  $260\text{mm} \pm 5\text{mm}$  on the consistency table. Properties measured in the fresh state were consistency index, workability (by squeeze-flow and cone penetration), air content, water retention and density. On the hardened state, density, compressive strength, flexural strength, capillarity water absorption, water absorption, shrinkage and modulus of elasticity were determined. Rendering mortar were applied over two substrates with different water absorption, determining bond strength and cracking. There were observed significant differences in the behavior of mortars made with different aggregates, as loss of workability and of density, reduction of compressive and flexural strength, decreasing of modulus of elasticity, increasing of absorption and density.

**Keywords:** grain shape, crushed fine aggregates, natural sand; mortar properties.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Projeções de grãos com formas variadas na fração 38 – 32 mm.....	20
Figura 2 – Padrões gráficos dos graus de esfericidade e arredondamento.....	25
Figura 3 – Morfologia dos grãos das areias. ....	25
Figura 4 – Grãos de areia de rio e de britagem, fixadas sobre fita adesiva para posterior aquisição das imagens. ....	26
Figura 5 – Variação do arredondamento dos grãos em função das frações granulométricas das areias. ....	27
Figura 6 – Processo de geração de agregados em pedreiras. ....	32
Figura 7 – Fluxograma do programa experimental da matéria-prima.....	54
Figura 8 – Fluxograma do programa experimental das argamassas.....	54
Figura 9 – Distribuição granulométrica das areias: AN, ABVSI e ABM.....	59
Figura 10 – Distribuição granulométrica do fíler da areia ABVSI.....	62
Figura 11 – Amostra da AN, retida na peneira de abertura 1,2mm.....	63
Figura 12 – Moldagem do ensaio de índice de consistência. ....	66
Figura 13 – Ensaio de squeeze flow. ....	68
Figura 14 – Equipamento para ensaio de penetração de cone.....	70
Figura 15 – Equipamentos e moldagem do ensaio de retenção de água.....	71
Figura 16 – Equipamento utilizado para o ensaio de densidade de massa.....	71
Figura 17 – Ensaio de resistência à tração na flexão antes e depois da aplicação da força. ....	72
Figura 18 – Corpo de prova antes e depois do ensaio de resistência à compressão. ....	73
Figura 19 – Corpo de prova onde foi efetuado o ensaio de densidade de massa. ....	73
Figura 20 – Equipamentos e execução do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico. ....	75
Figura 21 – Ensaio de absorção de água por capilaridade. ....	75
Figura 22 – Ensaio de absorção de água. ....	76
Figura 23 – Equipamento e ensaio de retração linear. ....	77
Figura 24 – Ensaio de aderência à tração em blocos cerâmicos.....	78
Figura 25– Gráfico do ensaio de absorção de água por capilaridade dos blocos cerâmicos. ....	79
Figura 26– Ensaio de absorção de água por capilaridade dos blocos cerâmicos. ....	79
Figura 27 – Volume de poros acumulados dos blocos cerâmicos utilizados como substratos. ....	80
Figura 28 – Distribuição de poros dos blocos cerâmicos utilizados como substratos.....	80
Figura 29 – Distribuição granulométrica da areia utilizada no chapisco.....	81
Figura 30 – Ensaio de aderência à tração.....	82
Figura 31 – Amostra AN, retida na peneira de abertura 1,2mm. ....	85
Figura 32 – Amostra ABVSI, retida na peneira de abertura 1,2mm. ....	86
Figura 33 – Amostra ABM, retida na peneira de abertura 1,2mm. ....	86
Figura 34 – Variação do arredondamento dos grãos das frações das areias. ....	88
Figura 35 – Variação da esfericidade dos grãos das frações das areias.....	89
Figura 36 – Índice de consistência.....	91
Figura 37 – Curvas de tensão x deslocamento ( $v= 3\text{mm/s}$ ).....	93
Figura 38 – Curvas de tensão x deslocamento ( $v= 0,1\text{ mm/s}$ ). ....	93
Figura 39 – Penetração de cone.....	96
Figura 40 – Retenção de água.....	97
Figura 41 – Densidade de massa.....	98
Figura 42 – Densidade de massa. ....	100
Figura 43 – Resistência à compressão das argamassas.....	101
Figura 44 – Resistência à tração na flexão das argamassas. ....	102

Figura 45 – Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas.....	103
Figura 46 – Absorção de água por imersão.....	105
Figura 47 – Índice de vazios.....	105
Figura 48 – Massa específica da amostra.....	106
Figura 49 – Corpos de prova moldados com argamassas ABVSI e ABM. ....	108
Figura 50 – Retração linear. ....	109
Figura 51 – Resistência de aderência à tração da argamassa aplicada sobre o substrato BbSi.....	112
Figura 52 – Resistência de aderência à tração da argamassa aplicada sobre o substrato BaSi.....	112
Figura 53 – Acompanhamento da fissuração: AN F6 substrato BaSi. ....	114
Figura 54 – Retração x Fissuração.....	115
Figura 55 – Índice de consistência.....	117
Figura 56 – Curvas de tensão x deslocamento ( $v= 3$ mm/s). ....	118
Figura 57 – Curvas de tensão x deslocamento ( $v= 0,1$ mm/s). ....	118
Figura 58 – Penetração de cone.....	120
Figura 59 – Retenção de água .....	121
Figura 60 – Densidade de massa no estado fresco. ....	122
Figura 61 – Densidade de massa das argamassas no estado endurecido. ....	123
Figura 62 – Resistência à compressão das argamassas.....	124
Figura 63– Resistência à tração na flexão das argamassas. ....	125
Figura 64 – Módulo de elasticidade dinâmico. ....	126
Figura 65 – Absorção de água por imersão.....	127
Figura 66 – Índices de vazios. ....	127
Figura 67 – Massa específica real.....	128
Figura 68 – Retração. ....	130
Figura 69 – Resistência de aderência à tração no substrato BbSi .....	132
Figura 70 – Resistência de aderência à tração no substrato BaSi.....	132
Figura 71 – Análise da fissuração: ABVSI#VSI substrato BbSi .....	133
Figura 72 – Retração x Fissuração.....	134

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Empacotamento dos grãos da AN. ....	51
Tabela 2 – Empacotamento dos grãos da ABVSI .....	51
Tabela 3 – Distribuição granulométrica das areias com as adições de fíler.....	52
Tabela 4 – Caracterização física e química do cimento CII-Z-32.....	55
Tabela 5 – Caracterização física e química da cal CHI. ....	56
Tabela 6 –Caracterização dos agregados. ....	57
Tabela 7 – Distribuição granulométrica das areias utilizadas como referência: AN e VSI.	59
Tabela 8 – Dimensão máxima das areias AN e britagem. ....	61
Tabela 9 – Teor de fíler existente nas areias após peneiramento. ....	61
Tabela 10 – Estudo piloto.....	64
Tabela 11 – Teores de água fixos .....	65
Tabela 12 – Caracterização dos blocos cerâmicos. ....	78
Tabela 13 – Ensaio e quantidades de corpos de prova .....	83
Tabela 14 – Média das áreas e perímetros das projeções dos grãos.....	84
Tabela 15 – Média das dimensões máximas das projeções dos grãos.....	84
Tabela 16 – Análise qualitativa dos grãos dos agregados miúdos. ....	87
Tabela 17 – Arredondamento .....	87
Tabela 18 – Esfericidade .....	89
Tabela 19 - Absorção de água, índice de vazios e massa específica das argamassas.....	104
Tabela 20 – Absorção de água por capilaridade.....	107
Tabela 21 –Níveis de fissuração nas argamassas aplicadas sobre as diferentes bases. ....	114
Tabela 22 - Absorção por imersão, índice de vazios e massas específica das argamassas. .....	126
Tabela 23 – Absorção de água por capilaridade.....	128
Tabela 24 –Fissuração nas argamassas aplicadas sobre diferentes bases. ....	133
Tabela 25 – Classificação segundo os requisitos da ABNT NBR 13281:2005 .....	135
Tabela 26 – Classificação segundo os requisitos da ABNT NBR 13281:2005 .....	137

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVEATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
IPS	Interparticle Separation Distance
MPT	Espessura Máxima da Pasta
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NM	Norma MERCOSUL
VSI	Vertical Shaft Impactors
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
SBTA	Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas
NA	Areia
ABVSI	Areia de Britagem Basáltica Passante pelo Britador VSI
ABM	Areia de Britagem Basáltica Passante pelo Britador de Mandíbulas
P	Resistência à compressão
M	Densidade de Massa Aparente no Estado Endurecido
R	Resistência à Tração na Flexão
C	Coefficiente de Capilaridade
D	Densidade de Massa no Estado Fresco
U	Retenção de Água
A	Resistência Potencial de Aderência a Tração

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1 Justificativa, Hipótese e Objetivos.....	16
1.2 Estrutura da Dissertação.....	16
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
2.1 Agregados miúdos para argamassas .....	18
2.1.1 Areia de britagem.....	27
2.1.1.1 Potencialidades das areias de britagem .....	28
2.1.1.2 Limitações do uso das areias de britagem .....	29
2.1.1.3 Obtenção de agregados britados .....	31
2.1.1.3.1 Tipos de Britadores .....	33
2.1.1.4 Substituição do agregado AN por areia de britagem.....	34
2.2 Argamassas de Revestimento .....	35
2.2.1 Características das argamassas de revestimento.....	36
2.2.2 Influência do agregado miúdo nas propriedades das argamassas.....	46
2.2.3 Argamassas de revestimento produzidas com areia de britagem.....	47
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>50</b>
3.1 Seleção e caracterização dos materiais.....	54
3.1.1 Aglomerantes.....	54
3.1.2 Agregados.....	57
3.1.2.1 Caracterização dos agregados .....	57
3.2 Composição do traço.....	63
3.2.1 Produção das argamassas.....	64
3.3 Propriedades avaliadas – Métodos de ensaio .....	65
3.3.1 Ensaio nas argamassas no estado fresco .....	65
3.3.2. Ensaio nas argamassas no estado endurecido.....	71
3.3.3 Blocos cerâmicos .....	77
3.3.3.1 Distribuição dos poros dos substratos .....	80
3.3.4 Mini-paredes .....	80
3.3.5 Quantitativo de corpos de prova. ....	82
<b>4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>84</b>
4.1 Forma dos grãos.....	84
4.2 Argamassas no Estado Fresco produzidas na distribuição granulométrica da areia (AN).....	90
4.2.1 Índice de Consistência.....	90

4.2.2	Trabalhabilidade das Argamassas .....	92
4.2.2.1	Squeeze Flow .....	92
4.2.2.2	Penetração de Cone .....	95
4.2.3	Retenção de Água .....	97
4.2.4	Densidade de massa .....	98
4.2.5	Conclusões sobre as argamassas no estado fresco .....	99
4.3	Argamassas no Estado endurecido produzidas na distribuição granulométrica da areia (AN) .....	100
4.3.1	Densidade de massa .....	100
4.3.2	Resistência à Compressão e à Tração na Flexão .....	101
4.3.3	Módulo de Elasticidade Dinâmico .....	103
4.3.4	Absorção de água, índice de vazios e massa específica .....	104
4.3.5	Absorção de água por Capilaridade e Coeficiente de Capilaridade .....	106
4.3.6	Retração Linear .....	108
4.3.7	Considerações sobre as argamassas no estado endurecido .....	109
4.4	Ensaio nos revestimentos realizados com as argamassas produzidas na composição granulométrica da areia (AN) .....	111
4.4.1	Resistência a aderência à tração .....	111
4.4.2	Análise da fissuração .....	113
4.4.3	Análise conjunta dos resultados de retração e fissuração .....	115
4.5	Argamassas no Estado Fresco confeccionadas na distribuição granulométrica da areia de britagem VSI (ABVSI) .....	116
4.5.1	Índice de Consistência .....	116
4.5.2	Trabalhabilidade das Argamassas .....	118
4.5.2.1	Squeeze flow .....	118
4.5.2.2	Penetração de Cone .....	120
4.5.3	Retenção de Água .....	121
4.5.4	Densidade de massa .....	122
4.5.5	Conclusões sobre as argamassas no estado fresco .....	122
4.6	Argamassas no Estado Endurecido confeccionadas na distribuição granulométrica da areia de britagem VSI (ABVSI) .....	123
4.6.1	Densidade de massa .....	123
4.6.2	Resistência à Compressão e à Tração na Flexão .....	124
4.6.3	Módulo de Elasticidade Dinâmico .....	125
4.6.4	Absorção de água, índice de vazios e massa específica .....	126
4.6.5	Absorção de Água por Capilaridade e Coeficiente de Capilaridade .....	128
4.6.6	Retração Linear .....	129
4.6.7	Considerações sobre as argamassas no estado endurecido .....	130
4.7	Ensaio nos revestimentos realizados com as Argamassas produzidas na distribuição granulométrica da areia de britagem VSI (ABVSI) .....	131
4.7.1	Resistência de aderência à tração .....	131
4.7.2	Análise da fissuração .....	133
4.7.3	Análise conjunta dos resultados de retração e fissuração .....	134
4.8	Classificação segundo a norma ABNT NBR 13281:2005 .....	135
4.8.1	Areias confeccionadas na distribuição granulométrica da AN .....	135
4.8.2	Areias confeccionadas na distribuição granulométrica da ABVSI .....	136
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>138</b>

5.1 Considerações finais.....	138
5.2 Sugestões de trabalhos futuros.....	150
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>151</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>161</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>162</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>164</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>166</b>
<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>168</b>
<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>170</b>
<b>APÊNDICE F.....</b>	<b>172</b>
<b>APÊNDICE G .....</b>	<b>175</b>
<b>APÊNDICE H .....</b>	<b>177</b>
<b>APÊNDICE I.....</b>	<b>179</b>
<b>APÊNDICE J .....</b>	<b>181</b>
<b>APÊNDICE L.....</b>	<b>184</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o Anuário Mineral Brasileiro (2009) o crescimento populacional e o crescimento da quantidade de bens e serviços transacionados num país é um processo que ocorre concomitantemente ao consumo de minerais para uso direto na construção civil. Há uma interface estreita entre o consumo de minerais agregados na sociedade e o padrão de vida desfrutado por uma população. Na primeira década do século 21, em 16 países europeus registrava-se o consumo médio de 6 a 10 t/habitante/ano. Nos EUA, a taxa era de 8 t/habitante/ano. No Estado de São Paulo e na Região Metropolitana de São Paulo, para fins de comparação, as taxas eram de 3,5 t/habitantes/ano e 4,2 t/ habitantes/ano, respectivamente. No Brasil estima-se que a extração de agregados miúdos seja de 320 milhões de metros cúbicos por ano, grande parte de forma ilegal (BASTOS et. al., 2005). Além de a informalidade prejudicar muito o desenvolvimento de uma região, não há areia suficiente para o volume atual de construções e a natureza sofre conseqüências, como agressão ao leito dos rios e suas margens. A exaustão de áreas próximas aos grandes centros consumidores e a restrição desta atividade extrativa pelos órgãos de fiscalização ambiental têm resultado na exploração de areia em locais cada vez mais distantes dos grandes centros urbanos, o que onera o preço final da areia de rio, visto que a distância entre produtor e consumidor tem sido em média 100 km (VALVERDE, 2001). Considerando as restrições impostas pelos órgãos governamentais à extração de areia dos leitos de rios, sendo necessário criar alternativas para o abastecimento de areia para a construção civil, a utilização de areia de britagem de rocha se torna uma alternativa interessante, principalmente, do ponto de vista ambiental.

A areia de britagem, como os demais produtos da britagem de rocha, é estocada em montes ao ar livre, exposto às intempéries, gerando uma série de impactos ao ambiente, como poluição atmosférica. Quando não armazenado apropriadamente, a água da chuva carrega parte do material, provocando assoreamento de leitos de cursos d'água. Sua reciclagem, portanto, é uma alternativa ambientalmente interessante. Ainda, o uso da areia de britagem de rocha basáltica em argamassas é uma alternativa econômica às regiões onde há escassez de areia de rio e distante dos centros fornecedores elevando assim o custo de transporte da areia de rio (VALVERDE, 2006).

Existe pouca bibliografia disponível (nacional e internacional) sobre o tema, principalmente com relação ao desempenho de argamassas com o uso de areia de britagem

de rochas basálticas. Salienta-se, desta forma, a importância da realização de estudos que venham a contribuir tanto na busca de soluções ambientais, como também no conhecimento das propriedades dos materiais produzidos com areia de britagem basáltica e, neste caso, em especial das argamassas.

### **1.1 JUSTIFICATIVA, HIPÓTESE E OBJETIVOS**

Pouco se tem documentado a respeito da utilização da areia de britagem para confecção de argamassas de revestimento, bem ao contrário de sua utilização no concreto. As duas características que mais distinguem uma areia de rio da areia de britagem são a forma do grão e o elevado teor de fíler. A estes soma-se a diferença de distribuição granulométrica e as propriedades mineralógicas.

Este trabalho visa responder a seguinte questão: Quais alterações ocorrem nas propriedades de uma argamassa em função da substituição da areia de rio por areia proveniente de britagem de rocha basáltica para a produção de argamassas mistas de revestimento?

As argamassas de cimento, cal e areia proveniente de britagem de rocha basáltica, apresentam modificações na trabalhabilidade das argamassas, possivelmente influenciando todas as propriedades do estado fresco e endurecido.

O objetivo geral deste trabalho é estudar a influência da forma dos grãos e do teor de fíler nas propriedades de argamassas.

Os objetivos específicos são a avaliação da influência da forma do grão e do teor de fíler das areias de britagem de rocha basáltica e AN nas propriedades da argamassa no estado fresco, endurecido e no comportamento das argamassas utilizadas como revestimento em uma base padronizada. Quantificar os parâmetros morfológicos das areias quanto ao arredondamento e esfericidade dos grãos; avaliar a influência da adição de fíler às argamassas, nas propriedades do estado fresco e endurecido; e correlacionar os diferentes fatores listados, estabelecendo uma hierarquia de influência ou mesmo uma inter-relação entre eles, que forneça parâmetros para a dosagem tecnológica das argamassas de revestimentos produzidas com areia de britagem basáltica.

### **1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A dissertação é composta por seis capítulos, sendo que no primeiro serão descritos a importância do tema, os objetivos e a hipótese da pesquisa.

Uma revisão a respeito de agregados abrangendo os requisitos gerais e adicionais para escolha de agregados para argamassas, o processo de produção da areia de britagem, suas aplicações e limitações de uso, e uma abordagem sobre argamassas: materiais constituintes, com ênfase na areia de britagem, como tema principal do trabalho; a composição e características reológicas, físicas e mecânicas da argamassa de revestimento foram realizadas no capítulo dois.

A metodologia utilizada no presente trabalho foi descrita no capítulo três, no qual se detalham a estratégia e o delineamento da pesquisa experimental.

No capítulo quatro foi apresentada a discussão a respeito dos resultados da dissertação.

No capítulo cinco foram apresentadas as considerações finais e indicações para futuros trabalhos.

Na seqüência foram apresentadas as referências bibliográficas utilizadas na elaboração do trabalho.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

A revisão da literatura foi focada na caracterização de areias usadas para a produção de argamassas de revestimento, com ênfase nos aspectos texturais e distribuição granulométrica das areias. Também foi realizada uma revisão da literatura referente à caracterização das argamassas de revestimento.

### **2.1 AGREGADOS MIÚDOS PARA ARGAMASSAS**

A grande variabilidade de origens, minerais formadores, fenômenos de intemperismo, desintegração e processos de produção, gera agregados de diferentes propriedades. Estas diferenças nas propriedades dos agregados são determinantes nas propriedades das argamassas, conforme comenta Tristão (2005).

Não há norma brasileira específica para a caracterização de agregados para argamassas. De modo geral, algumas exigências da ABNT NBR 7211:2005, destinada à especificação de agregados para concretos, são utilizadas na seleção de agregados para argamassas, tais como a distribuição granulométrica, massa específica, massa unitária e alguns parâmetros relacionados à forma do grão e espaços vazios. A ABNT NBR 7211:2005, também comenta que os agregados devem ser compostos por grãos minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, não devem conter substâncias de natureza nociva em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento e sua durabilidade. Esta afirmação, também pode ser considerada para argamassas.

Diversos pesquisadores criticam a utilização dos itens relacionados na ABNT NBR 7211:2005, para exploração de agregados a serem empregados em argamassas, principalmente no que se refere a porcentagem de material fino e à especificação das zonas granulométricas. Para argamassas a distribuição granulométrica precisa ser muito mais detalhada, não sendo simplesmente dividida em zonas, mas precisa ser considerado, também, o teor de empacotamento e o fator de forma dos grãos, entre outros fatores que não são mencionados na norma e que tem maior significância para as argamassas, devido a sua influência no comportamento dos revestimentos. Estes fatores, que serão apresentados a seguir, são os principais requisitos necessários para a caracterização de areias para argamassas.

As características fundamentais dos grãos são denominados parâmetros ou propriedades texturais (SUGUIO, 1973). A quantificação dos parâmetros texturais faz-se necessária devido à diversidade de areias existentes, segundo Araújo (2001) e Tristão

(2005). Os tamanhos, expressos em termos de distribuição granulométrica, a textura superficial, a forma representada pelo arredondamento e esfericidade, área superficial e a composição mineralógica fazem parte dos parâmetros texturais dos grãos (ARAÚJO, 2001; TRISTÃO, 2005). Para analisar os parâmetros texturais de um agregado dividi-se em algumas características fundamentais como, distribuição granulométrica, textura superficial, a forma e área específica dos grãos que serão melhores detalhadas nos itens a seguir:

a) Distribuição granulométrica

A distribuição granulométrica é a expressão das várias frações dimensionais do agregado relacionando a porcentagem retida ou a porcentagem retida acumulada com a abertura nominal, em mm, da malha das peneiras da série de peneiras adotada.

Para a determinação granulométrica utilizam-se, no Brasil, as peneiras de malha quadrada especificada na ABNT NBR 5734:1988, com razão 2 entre aberturas de malhas, e os procedimentos especificados na ABNT NBR NM 248:2003. A distribuição granulométrica, obtida por peneiramento, determina a porcentagem de grãos acumulados, retidos ou passantes nas peneiras, a dimensão máxima característica, o módulo de finura e o coeficiente de uniformidade do material.

Apesar de ser o procedimento especificado por norma, a utilização da série normal de peneiras recomendadas na ABNT NBR NM 248:2003, origina uma curva granulométrica pouco detalhada, segundo Carneiro (1999). Para um melhor detalhamento da distribuição granulométrica do agregado miúdo, é necessário utilizar peneiras intermediárias. Tristão (2005) propõe que a série principal da ABNT NBR 5734:1988 que inicia com a peneira 2,4mm e termina com a 0,075mm, composta por 11 peneiras, com razão de 1,41 entre aberturas de malhas sucessivas, deve ser adotada nos estudos de caracterização das areias para argamassas. Em seu trabalho, esta série se mostrou muito eficiente na análise da distribuição granulométrica.

A utilização da série normal da ABNT NBR 5734:1988, para estudos científicos e para classificação dos materiais, apesar de permitir uma melhor avaliação das variações dos tamanhos de grãos de diversas frações que compõem as areias, dificilmente poderá ser adotada em uma planta industrial, pois torna-se muito trabalhosa.

Segundo Fernlund (1998 apud TRISTÃO, 2005), as peneiras normalmente utilizadas para a classificação do tamanho do agregado se constituem em um método

grossoiro que não dá a exata medida das dimensões dos grãos. O autor ilustra sua hipótese por meio do exemplo da Figura 1, demonstrando que grãos de várias formas podem ficar retidos entre as peneiras de 38mm a 32mm.

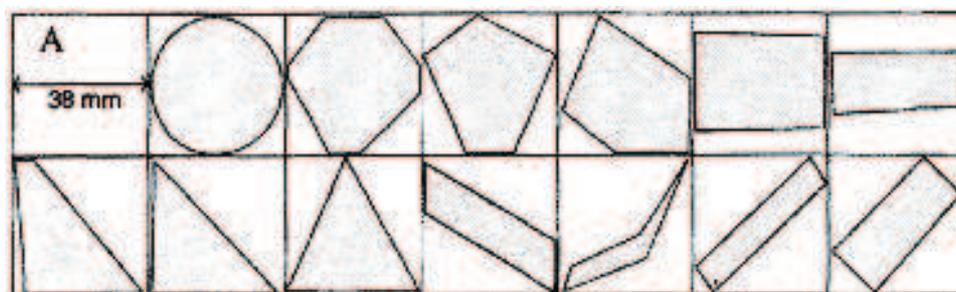


Figura 1 - Projeções de grãos com formas variadas na fração 38 – 32 mm.  
Fonte: Fernlund (1998 apud TRISTÃO, 2005).

A distribuição granulométrica de um agregado, também, depende da rocha-mãe. A textura superficial dos grãos depende de fatores químicos como a mudança devido à dissolução ou método de transporte. A variação do tamanho dos grãos das areias de depósitos sedimentares está associada a fatores físicos como o meio e a velocidade de transporte (SUGUIO, 1973). Não é aconselhável a generalização da classificação das areias de rio em um só tamanho, forma e textura superficial (TRISTÃO, 2005), pois as diversas frações que compõem as areias não têm a mesma forma (PERSSON, 1998 apud TRISTÃO, 2005). Também não pode-se generalizar as considerações sobre a forma dos agregados britados, pois esta depende da petrografia da rocha, do tipo e características do britador.

Visto que os grãos não são esféricos, a representação é relativa quando se referem à dimensão dos grãos através do diâmetro, segundo Araújo (2001), que sugeriu que a distribuição granulométrica de uma partícula de forma irregular é melhor expressa pelo valor de seu volume, pois o volume é independente da forma, já que os materiais naturais raramente são sólidos regulares. A determinação do volume é mais importante que o diâmetro do agregado, uma vez que, se uma partícula quebra em vários fragmentos, a soma de seus diâmetros não é igual ao diâmetro da partícula original, mas a soma dos volumes dos fragmentos é igual ao volume original, segundo Scarlett (2002 apud TRISTÃO, 2005).

As frações granulométricas e a forma dos grãos estão associadas ao empacotamento das partículas, e como a quantidade de grãos em cada fração depende da forma do grão, considerando a mesma massa específica, o conhecimento da distribuição granulométrica em termo de números de grãos é um dado importante no desenvolvimento de areias com os

menores volumes de vazios, que irão produzir argamassas com menores consumos dos aglomerantes (TRISTÃO, 2005).

O índice de vazios da areia é determinada nos trabalhos de vários autores, conforme salientou Carneiro (1999), autor que propõe o uso do coeficiente de uniformidade. O coeficiente de uniformidade é o parâmetro descritor da distribuição granulométrica de um agregado medido por meio da relação entre o diâmetro estimado correspondente ao percentual acumulado de 40% e o diâmetro estimado correspondente ao percentual acumulado de 90%, obtido da interpolação na curva que correlaciona o percentual acumulado e a abertura de malha das peneiras da série de peneiras adotada. O coeficiente de uniformidade é um complemento à distribuição granulométrica da areia, quanto mais próximo de 1 for o coeficiente de uniformidade do agregado, mais uniforme é a distribuição granulométrica do agregado. O volume de vazios apresenta uma correlação com a distribuição granulométrica da areia, representada pelo seu coeficiente de uniformidade. Areias muito uniformes conduzem a menor compactidade, enquanto que areias não uniformes que apresentam os maiores coeficientes de uniformidade são as que apresentam os menores volumes de vazios (TRISTÃO, 2005).

A partir do exposto, observa-se que a distribuição granulométrica das areias, obtida através de peneiramento, não é suficiente para caracterizar suas propriedades e que é necessária a incorporação de medidas da forma dos grãos para auxílio na interpretação da distribuição granulométrica das areias. Além disso, fica evidente a influência da forma dos grãos no índice de vazios das areias e a necessidade de sua correlação com as propriedades das argamassas.

#### b) Textura superficial dos grãos

Conforme estudos realizados por Tristão (2005), a textura superficial dos agregados interfere no consumo de pasta e na resistência mecânica de concretos e misturas asfálticas. A ABNT NBR 7389:1992 se refere à textura superficial classificando os grãos de agregados para concretos em polidos, foscos ou rugosos, com base em avaliação visual. Já a classificação geológica refere-se a superfícies polidas, foscas ou corroídas, segundo Tristão (2005).

O método utilizado para quantificação da textura superficial dos grãos de agregados para pavimentos asfálticos fornece um índice relacionado com as características de forma e textura do agregado, por meio da determinação da massa unitária compactada. Portanto, é

uma medida indireta da rugosidade, pois o método avalia, em conjunto, tanto a textura superficial como a forma do grão.

Há um método para a determinação do volume de vazios não compactados para agregado miúdo para concreto. Este método indica a influência da angulosidade, esfericidade e textura superficial dos agregados em comparação com outros agregados de mesma distribuição granulométrica, avaliando os parâmetros texturais em conjunto, conforme análise de Tristão (2005).

Hyslip e Vallejo (1997 apud TRISTÃO, 2005) afirmam que a rugosidade tem sido caracterizada por comparação visual com modelos padronizados. Os autores apresentam dois procedimentos gerais, sendo que um utiliza processamento manual e outro com um programa de análise de imagem. Este último tem grande potencial de uso para quantificar a rugosidade, sendo essenciais imagens com alta resolução. O procedimento consta basicamente da determinação da área e do perímetro da projeção da partícula e posterior traçado de um gráfico em escala logarítmica onde se determina o coeficiente angular da reta ajustada aos pontos. Com os resultados obtidos, os autores encontraram uma relação direta da dimensão com a rugosidade sendo que, quanto mais rugoso for o perfil do grão, maior o valor da dimensão.

Carr et al (1990 apud TRISTÃO, 2005) relacionaram a textura superficial com a área específica pelo fato de um agregado com textura superficial rugosa ter maior área superficial do que um agregado similar na forma e distribuição granulométrica com textura superficial mais lisa. Afirmaram ainda que, quanto maior a área superficial, maior a quantidade de aglomerante a ser adicionada na mistura para dar trabalhabilidade.

Uma das afirmações feitas por Tristão (2005), é que são necessários estudos em argamassas para melhor compreensão da influência da textura superficial dos agregados já que, em estudos para concretos e misturas asfálticas, conclui-se que a textura superficial interfere não só no consumo de pasta como nas resistências mecânicas.

A necessidade de estabelecer parâmetros relativos à forma dos grãos de areia ficou evidente, pois estabelecer distribuições granulométricas sem quantificar as formas dos grãos pode ocasionar a produção de argamassas inadequadas, já que as areias com a mesma distribuição granulométrica podem exibir variações no volume de vazios em decorrência da forma dos grãos.

### c) Forma dos grãos

A forma do grão é a feição exterior que o grão do agregado apresenta quanto à relação de dimensões (grão alongado, grão esférico, grão cúbico, grão lamelar, grão discóide ou grão quadrático), arestas e cantos (grão anguloso ou grão arredondado) e textura superficial das faces (grão liso ou grão áspero).

Não há norma específica para quantificação da forma de um grão utilizado para produção de argamassa. A norma ABNT NBR 7211:2005, especifica um limite superior para o índice de forma de agregados graúdos para concreto, não havendo, entretanto, nenhuma especificação ou relação deste valor para especificar um agregado miúdo para argamassa.

Bouquety et al.(2007) observaram que a forma do agregado miúdo é um parâmetro essencial na determinação das propriedades de uma argamassa, e que a maneira como o agregado é obtido influencia significativamente no tamanho e formas dos agregados. A origem dos agregados miúdos determina a forma de suas partículas. Agregados miúdos naturais tendem a ser arredondados, devido ao efeito cumulativo de colisões múltiplas e abrasão. Já os agregados miúdos industriais são produtos de trituração que determinam grãos com formas distintas de partículas, que dependem da composição da rocha-mãe, modo de fratura, coordenação durante a trituração, e a relação de redução. O processo de trituração tende a produzir partículas angulares de forma afiada. Partículas angulares de maior dureza produzem um pacote granular de menor densidade, baixa tensão e maior ângulo de atrito no estado crítico quando comparado com os agregados miúdos naturais (CORTES et al.,2008).

Segundo Briggs e Evertsson (1998), a maioria dos procedimentos que tem o objetivo de qualificar a forma de um agregado, parte do princípio de que a forma cúbica é a ideal para um agregado, e verificam o quanto a forma dos agregados em análise se afastam desta. Entretanto, devido à dificuldade de quantificação deste parâmetro, as informações fornecidas pela maior parte dos ensaios propostos para determinar a forma e a textura superficial de um agregado são apenas subjetivas, segundo Li et al. (1993).

Briggs e Evertsson (1998) mediram, manualmente, a massa e as três dimensões de duas frações de grãos (16-22) e (25-44) mm, e usaram a menor e a maior dimensão para classificar quanto à forma (índice comprimento/espessura). A não cubicidade predominou para as partículas maiores. Em seguida, submeteram o agregado a dois tipos de britagem.

A esse respeito, concluíram que o tipo de britador tem grande influência na forma final da rocha, independentemente dela ser previamente classificada como de forma inadequada. Também, que o método de britagem influencia mais a forma que o grau de redução da rocha, e que é possível interferir no processo de maneira que as propriedades inerentes sejam desconsideradas. Se o objetivo principal é diminuição do tamanho, o carregamento simples (em britador de cone) a altas reduções é prioritário, mas quando se pretende obter agregado de forma melhorada, deve-se adotar carregamento multiponto (britador de impacto de eixo vertical) com baixa redução (BRIGGS e EVERTSSON, 1998).

A necessidade de se quantificar a forma e a textura do agregado miúdo é enfatizada por Kandhal et al. (1991 apud TRISTÃO, 2005), pois a forma de sua partícula seja talvez mais importante que a do agregado graúdo na melhoria da estabilidade de misturas asfálticas e também na resistência à deformação. Segundo Díaz (1990 apud TRISTÃO, 2005) a forma do agregado, em estudo realizado com agregados para concreto, exerce maior influência do que a distribuição granulométrica, tanto no consumo de cimento quanto na resistência.

Tristão (2005) observou, em estudos realizados com argamassas, que em função dos diferentes parâmetros texturais encontrados para os diferentes agregados utilizados em seu estudo, as propriedades das argamassas no estado fresco foram alteradas sendo que, quanto mais arredondado e esférico o grão e menos rugosa sua textura superficial, menor a quantidade de pasta das argamassas, o que implica em um menor consumo de aglomerantes e de água de amassamento. Ainda segundo Tristão (2005) a forma dos grãos da areia para argamassa de revestimento deve ser representada através da determinação do arredondamento e da esfericidade. Para expressar esses coeficientes existem vários métodos, alguns por comparação visual com imagens de padrões definidos e outros quantitativos (ARAÚJO, 2001; D'AGOSTINO, 2004; TRISTÃO, 2005).

A ABNT NBR 7389:1992 descreve um método qualitativo de análise dos agregados para concreto. Em geologia, a técnica usada é a morfoscopia, praticamente a mesma da ABNT NBR 7389:1992, com maior número de classes de arredondamento (McLane, 1995 apud TRISTÃO, 2005). Segundo a ABNT NBR 7389:1992, deve-se avaliar a forma do grão visualmente, ou com auxílio de lupa, e compara-se com padrões gráficos que indicam o grau de esfericidade e arredondamento, conforme Figura 2. Enquanto o grau de esfericidade mostra o quanto o grão se aproxima da forma esférica, o arredondamento se relaciona com o grau de curvatura dos cantos. (TRISTÃO, 2005).



Figura 2 – Padrões gráficos dos graus de esfericidade e arredondamento.  
Fonte: ABNT NBR 7389:1992.

Russell e Taylor (1937 apud D'AGOSTINO e SOARES, 2001), propõem uma classificação numérica fornecida pelo programa QWIN utilizado em laboratório por D'Agostino (2004) para o grau de arredondamento, conforme apresentado na Figura 3.

	<b>Angular</b>	0,1 e 0,2
	<b>Subangular</b>	0,3 e 0,4
	<b>Subarredondado</b>	0,5 e 0,6
	<b>Arredondado</b>	0,7 e 0,8
	<b>Bem arredondado</b>	0,9 e 1,0

Figura 3 – Morfologia dos grãos das areias.  
Fonte: Russell e Taylor (1937 apud D'AGOSTINO e SOARES, 2001, P.38).

Há diversos modos de se medir quantitativamente o arredondamento. Suguio (1973), diz que, o grau de arredondamento pode ser determinado a partir da média dos raios de curvatura dos cantos da projeção do grão dividida pelo raio máximo do círculo inscrito no grão, medida muito trabalhosa, e pode variar de (0-0,15) para grãos angulares e de (0,60-1,00) para grãos bem arredondados.

Segundo Wadell (1936 apud TRISTÃO, 2005) a esfericidade pode ser expressa como a relação entre a área de superfície do grão pela área da superfície da esfera do mesmo volume do grão.

A esfericidade é a relação entre o diâmetro do círculo com área igual à área da projeção da partícula e o diâmetro do menor círculo circunscrito nas partículas, e atribuem

valores de (0 a 1), sendo que grãos alongados exibem uma esfericidade média de 0,45, enquanto grãos esféricos exibem valores próximos de 0,97, esta definição foi estudada por Carr et al. (1990).

A forma e dimensões de diferentes classes de agregados através da aquisição e processamento de imagens com o uso de um scanner e um programa denominado UTHSCSA Image Tool foi estudado por Olszewski et al. (2004). O programa fornece informações sobre a dimensão, a forma e a textura superficial dos agregados, obtidos com medição de: área, perímetro, comprimento do maior e menor eixo, diâmetro de Ferret, e obtenção de índices como arredondamento, dependente do perímetro (rugosidade externa); esfericidade e alongamento, dependentes da média do comprimento do maior eixo (aresta).

A ferramenta mais recomendada por alguns autores é a análise de imagem, devido a facilidade de automação dos dados, os autores que recomendam são Li et al. (1993), Araújo (2001), Olszewski et al. (2004), D' Agostino (2004) e Tristão (2005). O método utilizado na aquisição de imagem e a quantificação da área, perímetro e maior dimensão da projeção do grão se mostraram eficientes para classificar os grãos quanto à forma e textura.

Na Figura 4 são mostradas algumas das frações analisadas por Tristão (2005) para obtenção dos coeficientes de arredondamento e esfericidade dos grãos. O trabalho do autor é um dos trabalhos mais completos sobre a medição dos parâmetros morfológicos.

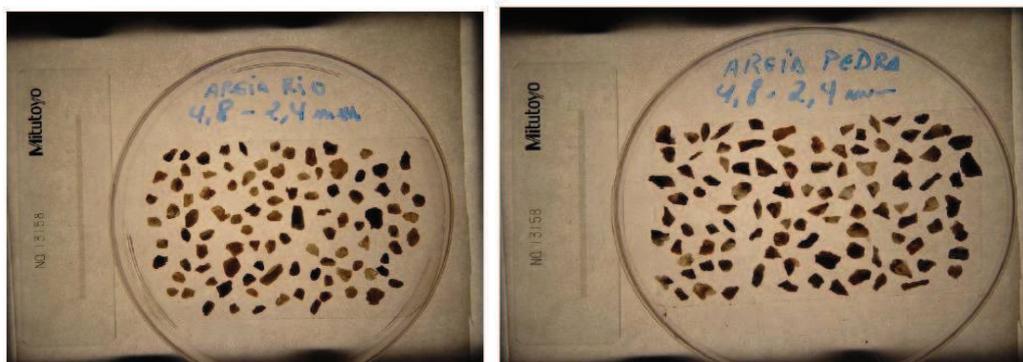


Figura 4 – Grãos de areia de rio e de britagem, fixadas sobre fita adesiva para posterior aquisição das imagens.

Fonte: Tristão (2005, p.73-76).

As imagens dos grãos maiores foram obtidas por Tristão (2005) utilizando uma câmera digital. As amostras foram posicionadas sobre uma fonte luminosa e o autor utilizou uma escala padrão de cristal com dimensão de escala 0,01mm e incerteza de  $2\mu\text{m}$  para obter a escala da imagem. Foram fotografados, aproximadamente, 400 grãos por

fração, quantidade definida nos estudos de Persson (1998, apud Tristão, 2005). Para as frações menores (1,18 a 0,6) e (0,6 a 0,3)mm, as imagens foram obtidas com o auxílio de uma lupa estereoscópica, com aumento que variou de 1 até 50 vezes dependendo da fração a ser analisada, e a fonte de iluminação foi um anel de luz, que distribui a luz localizada através de fibras ópticas. A lupa estava equipada de câmera digital com aumentos e resolução variando de acordo com a fração a ser fotografada.

Os resultados da caracterização morfológica das areias realizada por Tristão (2005) foram apresentados na forma de gráficos como os da Figuras 5, em que comparou os parâmetros de forma das areias de rio, duna e pedra (britagem).

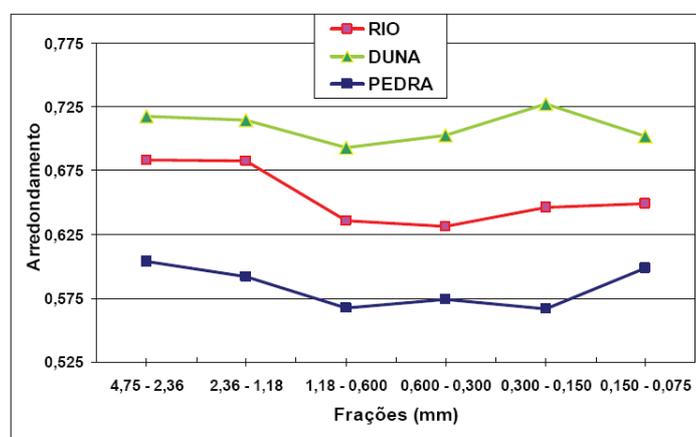


Figura 5 – Variação do arredondamento dos grãos em função das frações granulométricas das areias.  
Fonte: Tristão (2005, p.93).

Analisando a Figura 5, percebe-se que as diferentes frações da mesma areia apresentam características texturais distintas. Percebe-se que não existe padrão comum na terminologia referente ao arredondamento e esfericidade, o que acarreta dificuldades de interpretação e correlação de dados de diferentes autores, que demonstram a necessidade de estabelecimento de uma linguagem padronizada. Destaca-se, nesta revisão da literatura, a crescente utilização da técnica da análise de imagem na determinação dos parâmetros morfológicos das areias, por consequência da dificuldade de medição direta das dimensões dos grãos.

### 2.1.1 Areia de britagem

A areia de britagem é um material proveniente do processo de cominuição mecânica de rocha, submetido ou não a algum processo de classificação para retirada do material pulverulento, com granulometria entre 4,8mm e 150 $\mu$ m, segundo a ABNT NBR

9935:2005. Embora a ABNT NBR 7211:1983 já previsse a utilização de agregados miúdos obtidos da britagem de rocha e a ABNT NBR 9935:1987 a designasse como areia artificial regionalmente é adotada várias denominações como: pó de pedra, areia industrial, areia de brita, fíler de britagem, areia de britagem. Conforme Cuchierato et al. (2005), em relação à fração fina da britagem, na revisão da norma ABNT NBR 9935:2005 foi considerado adequado classificá-la como agregado AN (e não artificial), uma vez que é resultante de um processo de cominuição e classificação de rochas naturais. Não é adequado denominar esta fração como areia industrial, pois não é resultante de um processo industrial propriamente dito. Em modificações realizadas na norma ABNT NBR 7211:2005, os limites de materiais pulverulentos para a areia de britagem foram alterados de 5 a 7%, na norma antiga, para 10 a 12% de material passante na peneira 0,075mm., considerando mais de mil ensaios de distribuição granulométrica de agregados, provenientes de diversos pontos do Brasil, usados na produção de concreto e que, mesmo fora dos limites antigos, são utilizados na prática corrente sem registrar deficiência técnica ou prejuízos as suas propriedades. Cuchierato et al. (2005) dizem que, além disso, passou a fazer parte da caracterização do agregado o conhecimento da natureza petrográfica dos fíler e de seu estado de alteração, para que a avaliação técnica possa ser considerada completa.

No Brasil pouco se tem documentado a respeito da utilização da areia de britagem para confecção de argamassas de revestimento, bem ao contrário de sua utilização no concreto. Pode-se abordar a areia de britagem como um aproveitamento de resíduo, já que sua obtenção é feita a partir do pó de pedra, resíduo da britagem de rochas para a produção de agregados graúdos.

#### **2.1.1.1 Potencialidades das areias de britagem**

Almeida (2000), Silva (2005), Ishikawa e Camarini (2005), Nogueira et al. (2005), Ohashi (2005) comentam que a pequena variação da distribuição granulométrica ao longo do processo de produção é um aspecto positivo das areias de britagem (em geral, há homogeneidade na produção da areia de britagem).

Ohashi (2005), salienta que outra virtude é a facilidade em enquadrá-la na nova abordagem da ABNT NBR 7211:2005 que se refere ao agregado total como “agregado resultante de britagem de rocha cujo beneficiamento resulta numa distribuição granulométrica constituída por agregados graúdos e miúdos ou por mistura intencional de agregados britados e areia de rio ou britada, possibilitando o ajuste da curva

granulométrica em função das características do agregado e do concreto a ser preparado com este material”. Essa abordagem reflete o fato que, num futuro muito próximo, os consumidores especificarão a curva granulométrica dos agregados para argamassas e concretos e não mais os agregados separados em graúdos e miúdos.

Tristão (2005) diz que, são consideradas potencialidades da areia de britagem as poucas transformações necessárias no pó de pedra para torná-la apta ao uso: rebitagem, com arredondamento do grão, e remoção do excesso de fíler, de acordo com a rocha empregada, para melhor desempenho.

De modo geral, os níveis de impurezas das areias de britagem são menores que os da areia de rio, o que é um aspecto positivo deste material, bem como a compatibilidade de composição química, reforçada pelo fato das rochas de origem da areia de britagem já serem utilizadas no concreto como agregado graúdo. Desta forma, do aspecto mineralógico, pode-se dizer que as areias de britagem têm o mesmo potencial das areias naturais (CUCHIERATO, 2000).

Segundo Pandolfo e Masuero (2005), do ponto de vista econômico, o menor custo da areia de britagem em relação à areia de rio, nas regiões carentes deste recurso, ou distantes dos centros fornecedores é um aspecto altamente relevante. Do ponto de vista ambiental, pode ser citado o fato que a areia de britagem veio suprir a demanda gerada devido às restrições ambientais à extração de areia dos leitos de rios.

Para Pandolfo e Masuero (2005) os dados expressos permitem afirmar que a areia de britagem possui grande potencialidade para uso, desde que haja aperfeiçoamento dos equipamentos para sua obtenção, a fim de melhorar, principalmente, sua morfologia.

#### **2.1.1.2 Limitações do uso das areias de britagem**

As duas características que mais distinguem uma areia de rio da areia de britagem são a forma do grão e o elevado teor de fíler. A estes soma-se, normalmente, a diferença de distribuição granulométrica.

Segundo Chaves (2005), Silva (2005) e Ohashi (2005), uma das principais limitações do uso da areia de britagem é a forma dos grãos. As areias de britagem geralmente possuem partículas angulosas com baixo grau de arredondamento. Tristão (2005) concorda que para os agregados britados, parece ser AN a observação de que os grãos são muito angulosos, isto é, apresentam cantos mais agudos e com grandes e

pequenas reentrâncias. Tristão (1995) ainda afirma que as propriedades dos grãos dependem da petrografia da rocha, além do tipo e características do britador. Em consequência, é esperada uma variação da forma em cada fração granulométrica.

Na obra da Hidrelétrica de Manso (município de Chapada dos Guimarães, MT) Oliveira et al. (2000 apud LOPES, 2002) relatam que a forma lamelar da areia de britagem foi um dos problemas que inviabilizaram a sua utilização na obra. O tipo de britador disponível (mandíbulas), a quantidade insuficiente de material e os fíler de materiais argilosos impossibilitaram o uso da areia de britagem na construção da Hidrelétrica de Manso. A forma lamelar dos grãos fazia com que a mistura requeresse mais água e os fíler dos materiais argilosos, além de prejudiciais, faziam com que o material ficasse aderido junto às paredes das betoneiras e caçambas, comprometendo a continuidade e velocidade de lançamento.

O alto teor de material pulverulento parece ser outra limitação das areias obtidas do processo de britagem, por isso muitas dessas areias são comercializadas após a lavagem para a retirada dos fíler. Sbrighi Neto (1975 apud CUCHIERATO, 2000) e Silva et al. (2005) ressaltam que as misturas com muito pó podem fissurar por retração, enquanto que as misturas sem pó perdem a trabalhabilidade. Bastos (2005) considera que a trabalhabilidade requerida para o concreto pode ser adquirida com o controle do fíler da areia de britagem.

Ohashi (2005) diz que a importância dos fíler fica comprovada pelo fato de que vários consumidores da areia lavada adicionam cerca de 10% de fíler no traço do concreto, justamente o percentual retirado no processo de lavagem.

Grigoli (2001 apud ISHIKAWA e CAMARINI, 2005) resalta que o teor de material fino (menor que  $75\mu\text{m}$ ) não é uma desvantagem para a produção de argamassas, podendo ser até uma vantagem, pois melhora a trabalhabilidade e diminui a porosidade e, por consequência, aumenta a durabilidade.

Segundo Cuchierato (2000) e Chaves (2005) a areia de britagem possui um grau de maturidade mineralógica menor que o das areias naturais devido às superfícies frescas, não hidratadas ou oxidadas, recém geradas no processo de produção. Podendo, talvez levar a uma reação do tipo álcali-sílica.

Outra importante limitação do uso da areia de britagem é a distribuição granulométrica. Existem frações com quantidade de grãos abundantes nas areias naturais

que são praticamente inexistentes nas areias de britagem, um exemplo são as frações retidas nas peneiras de abertura 0,3 e 0,15mm, que praticamente são inexistentes para areias de britagem de rocha basáltica, utilizadas no presente trabalho.

A presença de materiais deletérios (grãos de feldspato alterado, grumos de argila, óxidos de ferro hidratados, entre outros) também pode ser considerada uma limitação do material (SILVA, 2006; CHAVES, 2005). A presença destes materiais é mais evidente em coberturas de pedreiras e deveriam ser descartadas na limpeza das mesmas (CHAVES, 2005).

Pandolfo e Masuero (2005), afirmam que as limitações apresentadas pelas areias de britagem podem ser contornadas com o desenvolvimento do conhecimento técnico acerca destes materiais, bem como do uso de equipamentos mais adequados para o seu processo de obtenção.

#### **2.1.1.3 Obtenção de agregados britados**

No que se refere à origem, podem ser britadas diferentes tipos de rochas para obtenção da areia de britagem: granito, calcário, arenito, basalto, gnaisse, entre outras. Cada tipo de rocha gera uma areia com diferentes características.

O processo utilizado na obtenção dos agregados miúdos de britagem, em especial o equipamento utilizado e o tipo de britagem, determinam as características da areia de britagem, e conseqüentemente influenciam as propriedades das argamassas feitas com esta areia, segundo Gonçalves et al. (2007).

Segundo Chaves (2005), o processo de geração de agregados em pedreiras, de um modo geral, é constituído pelas seguintes etapas: britagem e peneiramento, transporte, classificação, lavagem, empilhamento, armazenamento, carregamento e descarregamento, conforme ilustrado na Figura 6.

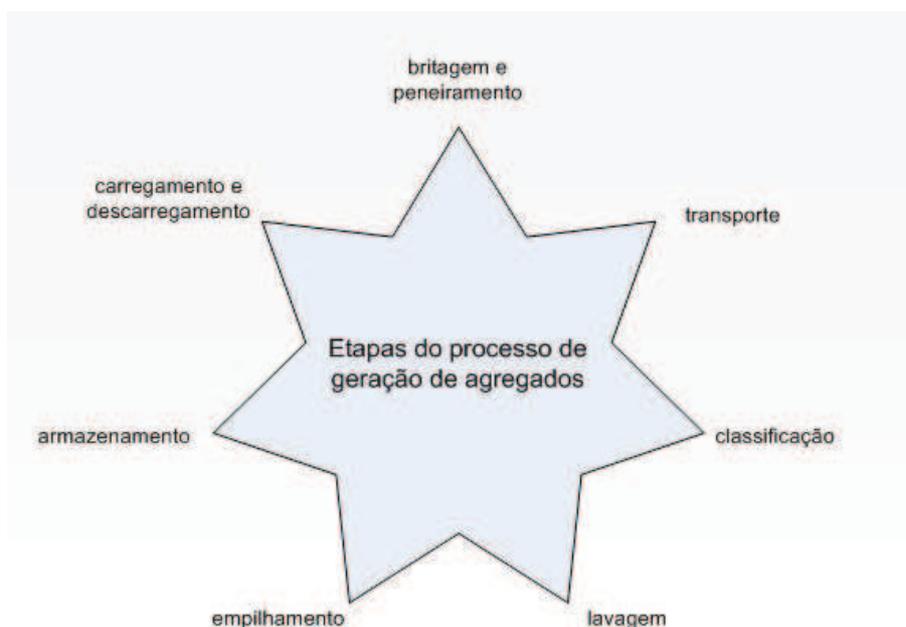


Figura 6 – Processo de geração de agregados em pedreiras.  
Fonte: Da autora.

A britagem é o processo primário de cominuição. O número de estágios de britagem depende da dimensão da rocha a ser britada e da qualidade do produto final. O controle da distribuição granulométrica e forma da brita ficam mais precisos de acordo com as etapas secundária, terciária e quaternária (CHAVES, 2005). O método mais comum de controle dimensional no processamento de agregados, tanto para aplicações por via úmida quanto seca, é o peneiramento vibratório e classificatório (METSO MINERALS, 2010). Após o peneiramento o material que não ficou classificado numa distribuição granulométrica adequada ( $>25\text{mm}$ ), retorna para os rebritadores secundários e terciário, de mandíbulas ou de cone, em circuito fechado, até atingir a granulometria específica dos agregados graúdos. O transporte dos agregados é contínuo, feito por correias transportadoras (METSO MINERALS, 2010).

Segundo Metso Minerals (2010) existem dois processos de produção da areia de britagem, a seco e a úmido. Nos dois processos o pó de pedra e os grãos menores que  $4,8\text{mm}$  são transportados até um conjunto de peneiras, distribuídas de forma a obter a curva granulométrica desejável.

O processo a seco consiste do simples peneiramento do material moído, e dá origem a um agregado miúdo com alto teor de material fino, difícil de ser retirado somente

por peneiras. O teor de material fino varia de acordo com as características da rocha. O pó de pedra pode conter um teor de fíler superior ao tolerado pela ABNT NBR 7211:2005, norma que especifica agregados para concretos, dependendo da rocha original.

Em função dos elevados teores de material fino, são acrescentados ao processo unidades lavadoras, caracterizando o processo a úmido. O material resultante deste processo é denominado areia de britagem.

No processo a úmido de produção da areia de britagem a partir do pó de pedra são gerados dois resíduos: a granilha, maior que 4,8mm, e uma lama ou polpa contendo material menor que 0,075mm em suspensão na água.

Nas pedreiras há a necessidade de controle ambiental de problemas relacionados à emissão de ruído e pó, dos possíveis rejeitos, controle das propriedades da rocha e das propriedades do produto final, pois as características da matéria-prima devem ser equilibradas com o nível de produção exigido e o tamanho e formato do produto final (METSU MINERALS, 2010). Outros fatores também devem ser levados em consideração, como o desgaste dos equipamentos, fator responsável pelo custo elevado de manutenção de uma usina de britagem.

#### **2.1.1.3.1 Tipos de Britadores**

Com base em Paul et al. (2003), os britadores de rocha podem ser agrupados como:

- Britador de mandíbulas: o britador de mandíbula trabalha através da quebra do material pela ação da força de compressão, aplicada através do movimento periódico de aproximação e afastamento de uma superfície de britagem móvel contra outra fixa.

- Britador giratório e de cone: nos britadores giratórios e de cone a redução de tamanho se dá pela combinação da compressão e atrito. O produto obtido com esses britadores é superior aos de mandíbula, com melhor proporcionalidade de dimensões das partículas, melhor graduação e aumento do percentual de fíler.

- Britador de rolo: os britadores de rolo atuam por compressão utilizando o princípio de fratura por clivagem. Esses britadores são hábeis para produzir produtos de tamanhos pequenos.

- Moinho de martelo: nos moinhos de martelo obtêm-se a redução do material pelo impacto dos martelos girando em alta velocidade e pela colisão do material arremessado pelos martelos contra as placas de impacto.

- Impactador de rocha contra metal: os impactores de rocha contra metal fazem uso do princípio do impacto à operação de redução de tamanho. Neste equipamento a rocha é arremessada violentamente contra as placas de impacto, ocasionando o estilhaço do material.

- Impactador de rocha contra rocha: os impactadores de rocha contra rocha fazem uso de um rotor montado em um eixo vertical para prover a força centrífuga que gera o processo de redução da partícula. O rotor acelera a altas velocidades e o arremessa para a câmara de britagem. Na trajetória e dentro da câmara de britagem as partículas colidem umas contra as outras. Através destas contínuas colisões que geram a redução das partículas. Este é o sistema que produz grãos com forma mais esférica e vem sendo introduzido em centrais de britagem que se propõem a gerar areia de britagem para uso em concretos e argamassas.

#### **2.1.1.4 Substituição do agregado AN por areia de britagem**

Empregar agregado miúdo AN proveniente de rios, cavas e barrancos é, ao mesmo tempo, uma necessidade, um costume e um problema com o qual a construção civil convive há tempos (BASTOS, 2005). O uso indiscriminado de agregados miúdos naturais certamente é uma agressão ao ambiente. Bastos (2005) cita como aspectos negativos principais que envolvem o emprego destes materiais o esgotamento de reservas de agregados naturais, a contaminação de materiais deletérios naturais e, mais recentemente, contaminações diversas em função da poluição dos rios; a variabilidade de faixas granulométricas e composição mineralógica, ao longo do tempo; a necessidade de melhoria do produto em relação à sua condição de oferta da forma AN, pela lavagem e peneiramento para retirada de material orgânico e grãos de tamanho indesejado (os maiores são descartados para uso em argamassa de revestimento, por exemplo).

Em função destes fatos, estudos sobre materiais que possam ser utilizados na substituição do agregado miúdo em argamassas e concretos estão cada vez mais presentes, com o intuito de avaliar características e propriedades que desenvolvam um produto com desempenho semelhante e, de preferência, superior aos utilizados atualmente.

Para tal substituição, Mehta e Monteiro (2008) citam que materiais candidatos a substituir a areia de rio devem, no mínimo, atender às mesmas especificações com relação à distribuição de tamanhos, forma, textura, resistência, dureza, módulo de elasticidade, absorção de água e presença de contaminantes de agregados naturais, entre outros.

Um material que pode atender essas especificações é a areia produzida a partir de processos de cominuição de rocha sã. Segundo Mendes (1999), ao fim do século passado, estes fíler estavam sendo apenas estocados em pilhas nas áreas das pedreiras, contribuindo para alteração da paisagem, criando um impacto ambiental; obstrução de canais de drenagem em virtude da deposição desse fíler; geração de poeira nas operações de britagem e formação de pilha. Segundo Ishikawa (2000) apud Gonçalves et. al., (2005), em citação referente a menos de uma década, este material era considerado pelas pedreiras como de difícil colocação no mercado da construção civil, com baixo valor agregado, sendo considerado como rejeito sem nenhum valor comercial.

Atualmente, este material está em ascensão no mercado, impulsionado pela crescente escassez de areia de rio, bloqueio de jazidas e restrições impostas pela legislação ambiental, gradualmente abordando sua condição de rejeito. A escolha adequada do processo de britagem e a classificação determinaram o sucesso da geração de um co-produto que atenda às especificações necessárias.

Segundo Cuchierato (2000), são necessárias poucas transformações para tornar o pó de pedra apto para o uso, como rebritagem, com arredondamento do grão, e remoção do excesso de fíler, para melhor desempenho.

## **2.2 ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

A norma ABNT NBR 13281:2005 define argamassa como uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

As argamassas podem ser classificadas segundo diversos critérios. A ABNT NBR 13281:2005 classifica as argamassas, segundo seu emprego, em argamassas para assentamento em alvenaria de vedação e estrutural, e encunhamento; argamassas para revestimento interno e externo de paredes e tetos; argamassas de uso geral; argamassas para reboco; argamassas decorativas camada fina e monocamada.

Segundo a ABNT NBR 13529:1995 revestimento em argamassa é o recobrimento de uma superfície lisa ou áspera com uma ou mais camadas sobrepostas de argamassa, em espessura normalmente uniforme, apta a receber um acabamento final. Já na ABNT NBR 13530:1995 define revestimento de argamassa como sistemas constituídos de uma ou mais camadas de argamassa, podendo cada uma delas ter uma função característica.

As argamassas devem atingir uma série de requisitos mínimos de desempenho, para os quais é necessário proceder a correta escolha dos materiais e de seu proporcionamento, cujas operações são denominadas de dosagem (LARA et al., 1995). Os requisitos mínimos para argamassas são estabelecidos pela ABNT NBR 13281:2005. A revisão da ABNT NBR 7200:1998 suprimiu toda e qualquer indicação de traços empíricos para a produção de argamassas de revestimento sugerindo a adoção de metodologias de dosagem cientificamente embasadas. No Brasil, não há uma metodologia consagrada para a dosagem de argamassas. Consta-se, entretanto, uma evolução nas metodologias propostas.

Carneiro (1999) propôs um método de dosagem de argamassa com base em curvas granulométricas contínuas. Silva (2006) analisando os trabalhos de Sabbatini et al. (2000), Selmo (1989), Campiteli et al. (1995) e Lara et al. (1995) acusou perspectivas de mudança quanto aos procedimentos para a dosagem de argamassas, trabalharam com proporções ideais de cal hidratada e cimento, de maneira a encontrar o melhor índice de consistência com a mesma quantidade de água. Antunes (2005) afirma que a dosagem tecnológica de argamassas deve basear-se em parâmetros reológicos, determinantes do sucesso de sua aplicação e, conseqüentemente, das propriedades no estado endurecido.

A seguir serão abordadas as características das argamassas juntamente com os requisitos da norma brasileira que especifica argamassas de revestimento.

### **2.2.1 Características das argamassas de revestimento**

A ABNT NBR 13281:2005 especifica os requisitos exigíveis para cada tipo de argamassa. A argamassa utilizada em revestimento de paredes e tetos, seja industrializada, dosada em central ou preparada em obra, deve atender aos requisitos mecânicos e físicos como: resistência à compressão, densidade de massa no estado endurecido, resistência à tração na flexão, coeficiente de capilaridade, densidade de massa no estado fresco, retenção de água e resistência potencial de aderência à tração. A norma não recomenda valores específicos para nenhum tipo de argamassa, apenas divide em classes com valores correspondentes.

Além dos requisitos recomendados pela ABNT NBR 13281:2005 as argamassas de revestimento devem apresentar outras propriedades no estado fresco e endurecido. Entre elas são comumente consideradas: (a) no estado fresco: coesão, adesão inicial, consistência, retenção de água, retração plástica, plasticidade, trabalhabilidade, aspectos

reológicos e ar incorporado; (b) no estado endurecido: resistência a abrasão, a fissuração, retração, porosidade, permeabilidade e aderência.

#### a) Argamassas no estado fresco

A argamassa é uma suspensão fluida reativa cuja consistência é modificada, sobretudo pela hidratação do cimento (CARDOSO et al. 2005). Trata-se de um material aplicado no estado fresco, mas que desempenha a maior parte de suas funções no estado endurecido. Contudo, seu desempenho durante a vida útil está diretamente relacionado às características que apresentar no curto período correspondente ao estado fresco.

As características das argamassas frescas, por sua vez, são dependentes de muitos fatores, relacionados à dosagem, às propriedades dos materiais componentes, às técnicas de mistura e aplicação. Portanto, devem ser especificadas de acordo com os objetivos a serem cumpridos, como: permitir adequada mistura, fácil aplicação e acabamentos, sem desperdício de material e tempo, apresentar propriedades como adesão, consistência, retenção de água, entre outras, compatíveis com o substrato a recebê-la e que garantam o desempenho perante as condições de meio e as solicitações durante sua vida útil (CARDOSO et al. 2005).

O estudo do comportamento das argamassas no estado fresco pode ser melhor compreendido a partir da reologia. Reologia é o ramo da física que investiga as propriedades e o comportamento mecânico de corpos que sofrem uma deformação (sólidos elásticos) ou um escoamento (fluido - líquido ou gasoso) devido à ação de uma tensão de cisalhamento num corpo sujeito a uma força constante. Os parâmetros estudados na reologia são a coesão, trabalhabilidade, adesão inicial, plasticidade, consistência, entre outros que serão descritos a seguir.

A coesão refere-se às forças físicas de atração existente entre as partículas sólidas da argamassa no estado fresco e às ligações químicas da pasta aglomerante, como por exemplo, a influência da cal sobre a consistência e a trabalhabilidade das argamassas provém das condições de coesão interna que a mesma proporciona em função da diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão ao agregado (CINCOTTO et al., 1995).

Algumas nomenclaturas foram adotadas por Carasek (1996) e Antunes (2005) para definir adesão inicial chegando ao consenso que adesão inicial é a união no estado plástico da argamassa à base. A adesão inicial da argamassa caracterizará o comportamento futuro

do conjunto substrato/revestimento quanto ao desempenho decorrente da aderência. É determinante na aderência do revestimento, pois é a propriedade que a argamassa fresca possui de permanecer adequadamente unida à base de aplicação, após seu lançamento, manual ou mecânico, auxiliada pela sua plasticidade e dificultada pela influência da força de gravidade (CINCOTTO et al., 1995). Antunes (2005) chama atenção para a carência de estudos relacionando aderência com adesão inicial. Segundo Rosello (1976 apud SELMO, 1989), a adesão inicial ou a aderência da argamassa no estado fresco ao substrato a revestir deve-se, em princípio, às características reológicas da pasta aglomerante. A baixa tensão superficial da pasta, função inversa do consumo de aglomerantes, é o que propicia a adesão física da argamassa ao substrato, assim como aos próprios grãos do agregado miúdo.

A plasticidade e a consistência são as propriedades que efetivamente caracterizam a trabalhabilidade, e são influenciadas pelo teor de ar aprisionado, natureza e teor de aglomerantes e pela intensidade de mistura das argamassas (Cincotto et al., 1995). A plasticidade é a propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a redução das tensões de deformação.

A consistência, segundo Cincotto et al. (1995), é a propriedade pela qual a argamassa no estado fresco tende a resistir à deformação. O ensaio de índice de consistência pela mesa de espalhamento (Flow table) é o ensaio mais utilizado para a determinação da consistência de uma argamassa, mas este não possibilita a distinção entre a contribuição da tensão de escoamento e da viscosidade, e carece de uma maior sensibilidade por fornecer somente uma única medida como parâmetro reológico (AZEREDO, G.; MOREL, J. C.; LAMARQUE, C. H., 2008; BAUER et al, 2005; SILVA, 2006).

Existem outros métodos utilizados para avaliar a consistência: o método de penetração do cone preconizados pela ASTM C 780 (1996 apud SILVA, 2006); o método vane test (ensaio de palhetas); ensaio de dropping ball (BS 4551, 1975 apud SILVA, 2005) que, entretanto, não são capazes de detectar a complexidade dos comportamentos reológicos que as argamassas podem apresentar (SILVA, 2006).

Estudos recentes (CARDOSO, 2009) tem investigado, também, os parâmetros reológicos das argamassas, como: viscosidade e tensão de escoamento, com o intuito de explorar o comportamento no estado fresco e prever o comportamento no estado endurecido. Segundo Niebel e Campitelli (2009), as características da deformação de uma

argamassa estão associadas aos seus aspectos reológicos que são normalmente influenciados pela sua fluidez.

A argamassa tende a apresentar um comportamento reológico complexo não somente devido à natureza reativa e multifásica (composta por uma fração grossa inerte, uma pasta reativa de água e fíler, além de pozolana, fíler, fibras, ar incorporado), mas também devido às diversas solicitações a que é submetida nas etapas de preparo (mistura) e aplicação (lançamento e acabamento) (PILEGGI, 2001). No comportamento reológico também deve ser considerado o fato da argamassa de sofrer modificações ao longo do tempo.

Conforme Cascudo et al. (2005), avaliar, quantificar e prescrever valores de trabalhabilidade das argamassas por meio de ensaios é uma tarefa muito difícil. A complexidade do comportamento reológico de uma argamassa requer o uso de ferramentas de controle de qualidade suficientemente sensíveis para quantificar pequenas variações nas propriedades das argamassas frescas que são determinantes de seu desempenho em uso. Em razão disso, têm sido estudadas novas técnicas de caracterização reológica. Cascudo et al. (2005) afirmam que a trabalhabilidade é determinada pelas características intrínsecas da argamassa, mas para defini-la também devem ser consideradas: a técnica de aplicação, a habilidade do pedreiro que está executando o serviço e as propriedades do substrato.

Costa (2006) enumera como fatores de influência do comportamento reológico: o teor de água; a concentração de sólido; a distribuição granulométrica das partículas; sua morfologia, a presença de aditivo dispersante e a tensão de escoamento. Quanto maior a concentração de sólidos da suspensão, maior a interação (colisões) entre as partículas, pois se encontram muito bem empacotadas e bastante próximas entre si.

O teor de água, principal ferramenta utilizada pelo operário para controle da reologia das argamassas, influencia toda a distribuição espacial dos sólidos na argamassa, afetando a porosidade, a formação da microestrutura e a variação volumétrica (retração), e, por conseguinte, a aderência (NADEAU, 2002 apud ANTUNES, 2005; CARASEK, 2001). Pandolfelli et al. (2000) recomenda que a densidade da matriz seja o mais próxima possível da densidade dos agregados, por isso, recomenda-se usar a menor quantidade de água possível na matriz de argamassa.

Para Bauer et al. (2005) há equipamentos mais modernos do que a mesa de consistência, que permitem uma avaliação mais rica do comportamento reológico de

argamassas, onde são analisados, inclusive, os parâmetros fundamentais (viscosidade e tensão de escoamento). Dentre estes cita-se os reômetros e o ensaio squeeze flow.

Segundo Antunes (2005) e Romano et. al. (2009) através do ensaio de squeeze flow, método utilizado para identificação dos parâmetros reológicos, ficou evidente a importância do controle dos procedimentos de mistura. Diferenças na seqüência de mistura alteram significativamente o comportamento reológico das argamassas. As metodologias de misturas das normas ABNT NBR 13276:2005, que adicionam o pó na água, se revelaram pouco adequadas a produzir argamassas homogêneas.

A distribuição granulométrica, assim como o estado de dispersão das partículas e o processo de mistura, determinam o espaço disponível para que a argamassa se deforme conforme a superfície em que está sendo aplicada (PILEGGI, 2001; ANTUNES, 2005; BANFILL, 2005; ENGMANN, 2005; ROMANO, et. al., 2009). Se forem estreitas (com grãos de dimensão semelhantes), as distribuições granulométricas reduzem a distância de separação entre partículas para uma dada concentração de sólidos, e levam à dilatância. Se forem abertas (com grãos de dimensões variadas), o contrário acontece, e a tendência de comportamento pseudoplástico predomina.

Segundo Antunes (2005), a espessura máxima de pasta (MPT) é um parâmetro que permite explicar o comportamento de argamassas durante o espalhamento. Para maximizar a fluidez, ou diminuir a viscosidade de uma suspensão, é necessário reduzir o contato físico entre partículas. Para fazer isso sem aumentar a quantidade de água, Pandolfelli et al. (2000) propuseram o uso de uma curva granulométrica descontínua com partículas que mantêm entre si o valor do quociente entre suas dimensões igual a 10. Por exemplo, se a maior partícula tem 2,4mm, a distribuição granulométrica será constituída por partículas de 2,4mm, seguidas de partículas de 0,24mm, seguidas de partículas de 0,024mm, e assim sucessivamente.

A forma das partículas influencia a fluidez das suspensões aquosas de partículas sólidas, sendo que, quanto maior a irregularidade de forma, maior a viscosidade. Devido aos efeitos de massa e à baixa área específica, a movimentação das partículas mais grossas tende a influenciar a facilidade ao espalhamento da argamassa. A presença de partículas com elevada rugosidade superficial e formato assimétrico acentua o atrito durante as colisões, dificultando também o fluxo. Partículas rugosas dificultam o escoamento da argamassa, pois aumentam a força de atrito entre as partículas. Quanto menor o coeficiente

de alongamento, mais alongadas se apresentam as partículas, dificultando o escoamento das argamassas, pois as arestas provocam maior choque e atrito entre os agregados, influenciando sua movimentação (TRISTÃO, 2005; COSTA, 2006).

Detectou-se no trabalho de Antunes (2005) uma grande variabilidade da energia de impacto durante a aplicação manual de argamassa de revestimento, mesmo para um único profissional. Esta variação de energia de impacto é, provavelmente, uma das fontes de variabilidade do desempenho de revestimentos. Por isso, é necessário formular argamassas que apresentem características reológicas que sejam pouco sensíveis, também, à variação na energia de impacto.

A matriz e os agregados, assim como o processo e seqüência de mistura, influenciam o comportamento reológico das argamassas. Os fatores de influência de cada um deles são listados a seguir (ANTUNES, 2005; ROMANO et. al, 2009):

- influência da matriz: estado de dispersão das partículas; forças repulsivas; uso de aditivo dispersante; distância de separação entre partículas (IPS);

- influência dos agregados: força de atrito; espessura máxima da pasta (MPT); uso de aditivos incorporadores de ar;

- influência da mistura da argamassa: processo de mistura; seqüência de adição de água.

Ao se aumentar os teores de ar incorporado e de água na argamassa há um grande efeito sobre a reologia, pois afastam os agregados, reduzindo o atrito entre os grãos e facilitando o espalhamento. O emprego de dispersantes também se mostrou promissor, principalmente no que se refere à diminuição da sensibilidade das propriedades reológicas ao procedimento de mistura, além de otimizar as propriedades mecânicas e, sobretudo, a resistência de aderência à tração. Porém, sua utilização requer cuidados, pois, dependendo da combinação entre a energia de impacto na aplicação e a reologia, seu efeito pode ser deletério à aderência (ANTUNES, 2005; ROMANO, et. al., 2009).

A retenção de água é a capacidade da argamassa no estado fresco de manter sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perdas de água por evaporação, sucção do substrato ou pela hidratação do cimento e carbonatação da cal. Os aglomerantes são os principais responsáveis pela capacidade de retenção de água (CINCOTTO et al., 1995; BAUER et al., 2005).

Segundo Carneiro (1999) a retenção de água na argamassa é um parâmetro importante porque influencia diretamente na retração no estado fresco, principal responsável pela fissuração da argamassa no estado endurecido, e está relacionada ao teor de agregado. O autor relata que há evidência que o aumento de fíler contribui para a retenção de água da mistura aplicada sobre a base porosa e a retração livre é mais intensa, pois diminui a sua resistência ao cisalhamento.

A metodologia que emprega o funil de Büchner, na determinação da retenção de água das argamassas fornece informações úteis para verificação dessa propriedade, além de ser de fácil execução e apresentar resultados pouco dispersos (BAUER et al., 2005).

Além de todos os fatores citados anteriormente que influenciam no comportamento de uma argamassa no estado fresco, Bastos (2001) considera a retração plástica uma característica que também precisa ser avaliada no estado fresco das argamassas. Pois, a retração plástica deve-se à perda de água da argamassa que ocorre antes do início de pega do cimento, quando a fração sólida da mistura dispõe de mobilidade de umas partículas em relação às outras. A diminuição de volume do sistema corresponde ao volume de água perdida.

#### b) Argamassas no estado endurecido

No que se refere ao estado endurecido, Sabbatini (2000) afirma que as solicitações às quais se encontram submetidas às argamassas de revestimento são: (a) movimentação volumétrica da base, por umedecimento e secagem, provocados pela ação de agentes externos como temperatura e umidade; (b) deformação da base, devida à deformação lenta do concreto da estrutura e recalques das fundações; (c) movimentação do revestimento por variação de temperatura, que provocam sua dilatação e contração; (d) retração do revestimento devida à diminuição de volume por perda de água para a base, por evaporação e pelas reações de hidratação do cimento.

Sabbatini (2000) comenta que, as argamassas endurecidas devem apresentar capacidade de acomodar a deformação gerada pelos esforços internos ou externos de diversas origens, e de retornar à dimensão original quando cessam esses esforços sem se romperem, ou através do surgimento de fissuras microscópicas que não comprometam o desempenho do revestimento no que diz respeito à aderência, estanqueidade e durabilidade.

Para ter êxito, as argamassas também devem apresentar módulo de deformação compatível com cada função (SABBATINI, 2000). Quanto menor o valor do módulo, maior será a capacidade do revestimento de absorver deformações, menor a tendência de ocorrerem fissuras. Dessa forma, esta propriedade influi decisivamente sobre o grau de aderência da argamassa à base e, conseqüentemente, sobre a estanqueidade da superfície e sua durabilidade (CINCOTTO et al., 1995).

Uma propriedade diretamente relacionada com a capacidade de deformação de uma argamassa é a sua porosidade. A porosidade é a relação entre o volume de vazios e o volume total de material segundo Carasek, (1996). Os vazios dos materiais sólidos apresentam formas e dimensões variadas. Segundo Isaía (2002) a porosidade total e a distribuição dos tamanhos dos poros determinam a permeabilidade, sendo que somente poros maiores que um valor específico contribuem significativamente para a mesma. Em termos de dimensões, os poros podem ser classificados em dois grupos: os poros capilares (ou macroporos) com tamanho entre 50 nm e 10 $\mu$ m e os poros de gel (ou mesoporos) entre (2 e 50) nm. Os poros maiores (capilares) dos materiais cimentícios influem na resistência à compressão e permeabilidade, enquanto que os poros pequenos (do gel) influenciam na retração e na fluência (MEHTA, 2008).

Segundo Carasek (1996) a capacidade de deformação da argamassa endurecida e a durabilidade da aderência são propriedades intrinsecamente relacionadas. Movimentos de retração hidráulica e térmica, bem como ações extrínsecas ao revestimento podem gerar tensões internas de tração na argamassa que, sendo superiores ao seu limite de resistência à tração, produzirão fissuras. Portanto, a argamassa fissura quando tensões internas que atuam no revestimento superam a resistência à tração (FIORITO, 1994). John (2003) acrescenta que a resistência à tração é, em última análise, a máxima resistência de aderência da argamassa.

Algumas nomenclaturas foram adotadas por Carasek (1996) e Antunes (2005) para definir aderência, chegando ao consenso que aderência vem a ser a união da argamassa endurecida à base. Para Antunes (2005) a aderência da argamassa ao substrato é a capacidade do revestimento em resistir a tensões normais e tangenciais na superfície de interface com o substrato.

Nas edificações uma das maiores falhas das argamassas de revestimento está relacionada com a perda de aderência ou falta de aderência ao substrato. A formação da

aderência é um mecanismo complexo que envolve o transporte de massa (sólidos e líquidos) na argamassa e na sua interface com a base. Ela se deve à penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou na rugosidade da base (SCARTEZINI, 2002). A aderência é um dos principais critérios de desempenho do sistema de revestimento, se ela falhar podem haver danos inclusive a vida humana (ANTUNES, 2005). Portanto pretende-se abordar os conceitos necessários a sua compreensão, com especial atenção ao seu mecanismo de formação e fatores determinantes.

A aderência é resultante da ancoragem mecânica da argamassa nas reentrâncias e saliências macroscópicas da base e também da penetração do aglomerante nos poros da base, sendo influenciada pelas características da argamassa, da base e pela técnica de aplicação. A aderência não é uma propriedade exclusiva da argamassa, porém depende das características do substrato, e processa-se essencialmente por fenômenos mecânicos decorrente do intertravamento de cristais de etringita no interior dos poros da base, segundo Carasek (1996).

Quando a argamassa no estado plástico entra em contato com a base absorvente, parte da água de amassamento, penetra pelos poros e cavidades do substrato de modo que ocorre a precipitação de produtos de hidratação do cimento no seu interior, exercendo ação de ancoragem da argamassa à base (SCARTEZINI, 2002).

Carasek (1996), Candia (2000), Antunes (2005), Povoas (2005) e Romano et. AL., (2009) comentam que o tipo de substrato, o tipo de argamassa, a técnica de execução do revestimento, o tipo e o tempo de mistura dos materiais, o tipo e o processo de aplicação, a extensão de aderência, as condições ambientais e a condição de umidade do substrato são parâmetros que exercem influência na resistência de aderência, havendo entre eles uma certa dependência. O inter-relacionamento entre os diferentes parâmetros é de fundamental importância, pois visa entender o comportamento conjunto das propriedades de ambos os materiais na resistência de aderência.

O aparecimento prematuro de problemas patológicos nos revestimentos de fachada se deve, em alguns casos, à execução das etapas do revestimento baseadas no empirismo, sem o necessário estudo de cada situação (CANDIA, 2000). Por exemplo, existe um conhecimento generalizado acerca da influência do preparo da base na resistência de aderência e, muitas vezes, é executado com base no empirismo, o que não permite aproveitar a contribuição dessa camada no desempenho dos revestimentos de argamassa.

A escolha do tipo de preparo da base deve ser feita de acordo com as suas características superficiais, sendo executado utilizando materiais e técnicas adequadas a fim de melhorar as condições de aderência do revestimento à base, criando uma superfície com rugosidade apropriada e regularizando a capacidade de absorção inicial.

O preparo da base com uso de tratamentos superficiais como umedecimento e aplicação de chapisco convencionais e aditivados são maneiras de alterar a sucção e a textura superficial do substrato. No caso de umedecimento, entretanto, podem surgir efeitos adversos como a saturação da base a ponto de quase não haver sucção (ANTUNES, 2005).

Segundo Antunes (2005) se não houver impedimento, a perda de água da argamassa para o ambiente inicia logo após a mistura e continua durante todo o processo, para umidade menor que 100%. Já a perda de água para a base, começa com o contato, início do processo de aderência, devido ao menor potencial de pressão hidrostática desta em relação à argamassa, que nessa etapa tem poros capilares bem maiores que os da base. A sucção também depende da área de contato entre a base e a argamassa, de maneira que possam ser ativados os poros capilares da base e se eleve a extensão de aderência.

Os estudos de Antunes et al. (2005), creditam às propriedades reológicas da argamassa a eficiência da aderência ou a redução de defeitos na interface, que aumenta a extensão e durabilidade da aderência, assim como os defeitos de aderência, inerentes à argamassa ou defeitos extrínsecos, a energia de impacto e a seqüência de mistura.

Segundo Antunes (2005), a resistência de aderência à tração do revestimento é função da quantidade de defeitos na camada de argamassa, em especial na interface argamassa/substrato, mantidos fixos os demais fatores intervenientes (como a base, as condições de cura e as condições do ensaio de arrancamento). A minimização da quantidade de defeitos, ou seja, o incremento na resistência de aderência à tração do revestimento está ligada a uma combinação entre a reologia do material e a energia de impacto empregada, para cada tipo de base e composição da argamassa.

Segundo Antunes (2005) a combinação entre reologia da argamassa e energia de impacto controlou a taxa de defeitos (inverso da extensão de aderência) na interface. Foi possível obter ganhos substanciais (com mais de 200%) de resistência da aderência controlando a reologia, mesmo com grande redução (mais de 200%) nas propriedades mecânicas, mantendo-se constante a energia de impacto.

Cardoso (2009) comenta que entre as patologias de revestimentos, a falha de aderência é um dos fenômenos mais frequentes, sendo originada pela incompatibilidade entre o comportamento reológico da argamassa e a energia de lançamento utilizada, resultando em defeitos na interface argamassa substrato. A adequação das características reológicas das argamassas às solicitações envolvidas na aplicação fornece condições de processamento mais favoráveis para a obtenção das máximas propriedades finais do revestimento.

Outro aspecto importante relacionada à durabilidade e as propriedades das argamassas no estado endurecido é a retração. A retração das argamassas pode ocorrer em função de retração térmica, por carbonatação, por hidratação do cimento, autógena, simultâneas ou em diferentes fases da vida útil da argamassa (BUIL e BARON, 1980 apud SILVA, 2006). A retração por secagem ocorre após o início de pega do cimento, causada pela perda de água. Sua magnitude depende diretamente do grau de dificuldade para remoção da água e das propriedades mecânicas do compósito (BASTOS, 2001).

### **2.2.2 Influencia do agregado miúdo nas propriedades das argamassas**

As diferenças nas propriedades dos agregados são determinantes nas propriedades das argamassas. A areia não participa das reações químicas de endurecimento da argamassa interferindo, entretanto, pela distribuição granulométrica, teor de fíler, forma e textura superficial dos grãos, nas propriedades da argamassa fresca e endurecida.

A distribuição granulométrica da areia influencia diretamente no desempenho da argamassa, interferindo na retenção de água, na trabalhabilidade e no consumo de água e aglomerantes no estado fresco. No revestimento acabado, exerce influência na tendência à fissuração, textura superficial, permeabilidade e na resistência de aderência (CARNEIRO e CINCOTTO, 1999 apud SILVA, 2006; ANGELIM et. al. 2000).

Segundo Silva (2006), diferenças de forma e textura superficial vão alterar significativamente a interação entre os grãos no estado fresco, o que fará necessária uma dosagem específica (de pasta, por exemplo) que controle eventuais problemas gerados devido ao atrito entre esses grãos de morfologia diferenciada da areia de rio.

À medida que se emprega uma areia mais fina na confecção da argamassa, diminui-se o raio médio de seus poros capilares e, conseqüentemente, a capacidade de sucção do substrato. Sendo assim, areias mais grossas propiciam argamassas que tornam maior a quantidade de poros ativos do substrato para exercer sucção, retirando mais água

proporcionalmente, no que concerne a relação água/cimento inicial. Cabe salientar também que, em termos de quantidade absoluta de água retirada da argamassa, acontece o inverso, pois para uma mesma consistência a argamassa de areia mais fina exige muito mais água do que uma argamassa de areia mais grossa, cedendo àquela até cerca de 26% a mais de água do que a argamassa de areia grossa. (CARASEK, 1996).

Segundo Bonavetti e Irassar (1994) a presença de material fino na areia causa efeitos opostos na resistência das argamassas. O primeiro efeito é negativo, pois aumenta a demanda de água; enquanto o segundo, o efeito fíler, é positivo. Dependendo da magnitude de ambos, os fíler podem ser favoráveis ou não à resistência da argamassa. Nas idades iniciais (7 e 28 dias) o efeito dos fíler da areia na hidratação do cimento é marcante enquanto nas idades avançadas torna-se menos significativo. No trabalho realizado por Bonavetti e Irassar (1994), em argamassas os efeitos restritivos não surgiram até seis meses de idade. Há uma tendência de maior porosidade da argamassa quando o teor de fíler aumenta. Entretanto, não foi constatado diminuição na resistência ao aumentar o teor de fíler.

### **2.2.3 Argamassas de revestimento produzidas com areia de britagem**

A areia de rio e a areia de britagem diferem, principalmente, quanto à morfologia do grão, ao teor de material pulverulento e à composição da rocha de origem. De maneira geral, a forma do grão de areia de britagem é angulosa, podendo apresentar-se cúbica ou lamelar, dependendo tanto da rocha de origem quanto do equipamento de britagem. A morfologia do grão influencia, principalmente, na demanda de água para dar trabalhabilidade à argamassa, em geral maior que a demanda da areia de rio, assim como no acabamento superficial, normalmente mais áspero. Essas alterações resultam em alterações nas propriedades da argamassa endurecida (Pandolfo e Masuero, 2005).

O teor de material pulverulento da areia de britagem é, normalmente, superior ao da areia de rio, o que implica no aumento da demanda de água e maior potencial de fissuração. Segundo estudos de Niebel e Campiteli (2009), a adição de fíler altera significativamente as características reológicas das argamassas, justificando a importância do estudo do teor adequado de fíler para produção de argamassas de revestimento.

Conforme Pandolfo e Masuero (2005), as rochas utilizadas para fabricar areia de britagem podem ter origens diferentes, sendo encontrados estudos referentes ao uso de areia proveniente de rochas graníticas, calcárias, basálticas e gnáissicas. O tipo de rocha

leva, após a britagem, a diferentes formas de grão e diferentes teores de fíler e, com isso, a diferentes contribuições para o comportamento das argamassas.

A areia de britagem basáltica avaliada por Pandolfo e Masuero (2005) resultou em maior demanda de água da argamassa do que a areia de rio para manter a consistência fixada. Da mesma maneira se comportou a areia de britagem granítica utilizada por Tristão (2005). Já a areia de britagem calcária estudada por Silva (2006) produziu argamassas mais trabalháveis e com menor consumo de água que a areia de rio, devido a melhor lubrificação dos grãos gerada pelo maior teor de fíler.

Para D'Agostino et al. (2004) a argamassa produzida com areia de britagem granítica apresentou consumo de cimento 12% menor que aquelas produzidas com areia de britagem basáltica e areia de rio. Para Tristão (2005) houve aumento da quantidade de pasta e conseqüentemente do consumo de aglomerantes para as argamassas produzidas com areia de britagem granítica, provavelmente devido à forma e textura superficial dos grãos e o aumento na quantidade de fíler.

No trabalho realizado por Tristão (2005), verificou-se que a areia de britagem basáltica apresentava massa específica superior à da areia de rio, o que resulta em argamassas com maior densidade de massa, o que dificulta o seu uso para revestimento de tetos e paredes por sua maior densidade, conseqüentemente mais pesada diminuindo a aderência. Pandolfo e Masuero (2005) acusaram aumento de densidade de massa no estado fresco e endurecido, causada pela areia de britagem basáltica usada em substituição à areia de rio em argamassas de revestimento.

Para Tristão (2005) e Pandolfo e Masuero (2005) a retenção de água das argamassas com areia basáltica foi maior que as argamassas com areia de rio, provavelmente devido ao maior teor de material pulverulento, pois as mesmas não foram lavadas, foram apenas peneiradas para retirar o excesso de fíler. Já em seu estudo com areia de britagem granítica, as argamassas produzidas por Tristão (2005) apresentam menor retenção de água que as produzidas com areia de rio.

A resistência à compressão das argamassas produzidas com areia de britagem é, em geral, maior que a das argamassas produzidas com areia de rio. Isto, também foi comprovado por D'Agostino et al. (2004), Pandolfo e Masuero (2005) e Silva (2006). Quanto à absorção capilar, Pandolfo e Masuero (2005) e Silva (2006) obtiveram argamassas com menor absorção capilar quando produzidas com areia de britagem.

Silva (2006) mediu maiores resistências de aderência para revestimentos com argamassas confeccionadas com areia de britagem do que com areia de rio. Pandolfo e Masuero (2005) encontraram o contrário.

Observa-se, portanto, que o comportamento de argamassas com areia de britagem é fortemente influenciado pelas características da própria areia, e que as pesquisas já realizadas ainda não apresentam consenso sobre estas interações.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentada a metodologia experimental utilizada neste trabalho. O objetivo deste trabalho é estudar a influência da forma dos grãos e do teor de fíler nas propriedades das argamassas onde é feita a substituição do agregado miúdo AN por agregado miúdo proveniente de britagem de rocha. A execução do programa experimental constituiu-se inicialmente na escolha de areias com diferenças nos aspectos de arredondamento e esfericidade. Na primeira etapa do programa experimental utilizou-se como areia de referência uma areia proveniente do rio Jacuí das proximidades de Porto Alegre, cuja distribuição granulométrica foi alterada de modo a proporcionar uma distribuição granulométrica considerada ideal. A partir da areia de referência (areia do rio Jacuí), foi elaborada a dosagem de uma argamassa de revestimento. Com base neste traço produziram-se argamassas com a substituição do agregado de referência por cada uma das areias de britagem, alterando-se, igualmente, o teor de fíler (0; 1,5; 6 e 10%). Na segunda etapa do programa experimental, repetiu-se todos os procedimentos fixados na primeira etapa, porém, utilizou-se como areia de referência uma areia proveniente de rocha basáltica passante pelo britador VSI. As diversas composições de argamassa foram comparadas entre si.

São estabelecidas como fatores de controle:

- três tipos de areias com diferenças quanto ao arredondamento e esfericidade;
- duas composições granulométricas, uma para areia de britagem passante pelo britador VSI e uma para areia de rio;
- três diferentes teores de fíler para cada areia;
- duas bases com diferentes absorções de água, para aplicação das argamassas.

A forma dos grãos é avaliada a partir do arredondamento e da esfericidade. Trabalha-se com três diferentes areias, uma areia de rio (AN), uma areia de britagem basáltica que passou pelo britador VSI (ABVSI) e uma areia de britagem basáltica passante pelo britador de mandíbulas (ABM).

Quanto à distribuição granulométrica as areias foram submetidas ao processo de peneiramento e lavagem em água corrente com o objetivo de separar as diferentes

frações granulométricas existentes nas mesmas, eliminar o fíler, os grãos retidos na peneira de abertura 2,4mm e o material pulverulento. Para encontrar uma distribuição granulométrica ideal para AN trabalha-se com o melhor empacotamento, este ensaio consiste em realizar diferentes proporções de agregados de forma a preencher, o máximo possível, dos vazios entre os grãos dos mesmos. O ensaio de empacotamento foi realizado conforme os procedimentos da ABNT NBR NM 45:2006. O melhor empacotamento é obtido a partir do momento que se consegue encontrar a maior massa unitária da mistura dos grãos, conforme Tabela 1. A distribuição granulométrica ideal para AN foi reproduzida para as areias de britagem com o objetivo de eliminar a variável da diferença de distribuição granulométrica e proporcionar a análise da influência da forma do grão do agregado miúdo.

Tabela 1 – Empacotamento dos grãos da AN.

Composição		Porcentagem retida (%)					Massa Unitária (Kg/m <sup>3</sup> )
		#1,2 mm	#0,6mm	#0,3mm	#0,15mm	#0,075mm	
1	original	10,8	19,5	41,0	25,8	2,9	1487,49
2	90%≥#0,6mm	32,2	57,8	5,9	3,7	0,4	1470,91
3	80%≥#0,6mm	28,6	51,4	11,8	7,4	0,8	1491,46
4	70%≥#0,6mm	25	45	17,6	11,1	1,3	1504,79
5	60%≥#0,6mm	21,4	38,6	23,5	14,8	1,7	1509,94
6	50%≥#0,6mm	17,9	32,1	29,4	18,5	2,1	1511,82
7	40%≥#0,6mm	14,3	25,7	35,3	22,2	2,5	1487,72
8	30%≥#0,6mm	10,7	19,3	41,1	25,9	3	1482,76
9	20%≥#0,6mm	7,1	12,9	47	29,6	3,4	1461,33
10	10%≥#0,6mm	3,6	6,4	52,9	33,3	3,8	1436,68

Da mesma maneira, foi realizada uma segunda etapa do programa experimental utilizando-se como referência a areia ABVSI, para a qual foi determinada a melhor distribuição granulométrica através do empacotamento, conforme Tabela 2. Posteriormente, esta composição foi reproduzida para a areia AN.

Tabela 2 – Empacotamento dos grãos da ABVSI

Composição		Porcentagem retida (%)					Massa Unitária (Kg/m <sup>3</sup> )
		#1,2 mm	#0,6mm	#0,3mm	#0,15mm	#0,075mm	
1	original	32,2	26,7	24,0	11,3	5,8	1376,82
2	90%≥#0,6mm	49,2	40,8	5,8	2,8	1,4	1332,88
3	80%≥#0,6mm	43,8	36,2	11,7	5,5	2,8	1364,02
4	70%≥#0,6mm	38,3	31,7	17,5	8,3	4,2	1373,91

Composição		Porcentagem retida (%)					Massa Unitária (Kg/m <sup>3</sup> )
		#1,2 mm	#0,6mm	#0,3mm	#0,15mm	#0,075mm	
5	60% $\geq$ #0,6mm	32,8	27,2	23,3	11,1	5,6	1391,46
6	50% $\geq$ #0,6mm	27,3	22,7	29,2	13,8	7,0	1387,08
7	40% $\geq$ #0,6mm	21,9	18,1	35,0	16,6	8,4	1384,09
8	30% $\geq$ #0,6mm	16,7	13,6	40,8	19,3	9,9	1349,02
9	20% $\geq$ #0,6mm	10,9	9,1	46,7	22,1	11,2	1318,30
10	10% $\geq$ #0,6mm	5,5	4,5	52,5	24,9	12,6	1300,73

Em função do pouco tempo hábil para realização do trabalho, optou-se por não testar a distribuição granulométrica com o melhor empacotamento da areia ABM, já que esta foi a areia que apresentou a forma mais irregular.

Após a obtenção das composições granulométricas de referência, para areia AN e ABVSI, foram realizadas as substituições dos diferentes grãos, resultando em diferentes combinações: distribuição granulométrica da AN sem fíler (AN), distribuição granulométrica da AN composta pelos grãos da ABVSI sem fíler (ABVSI), distribuição granulométrica da AN composta pelos grãos ABM sem fíler (ABM), distribuição granulométrica da ABVSI sem fíler (ABVSI#VSI) e distribuição granulométrica da ABVSI composta pelos grãos AN sem fíler (AN#VSI).

Trabalhou-se com três teores diferentes de fíler para cada areia, 1,5% de fíler que é o teor de fíler oriundo da areia de rio, em estudo, 6% de fíler que acrescentados a areia depois de lavada (este teor é um teor intermediário entre o teor de fíler da areia de rio e o teor de fíler das areias de britagem) e 10% de fíler, oriundo das areias de britagem de rocha basáltica, utilizadas no estudo (adicionado após a lavagem). As composições granulométricas utilizadas no trabalho, com as substituições dos grãos e com as adições de fíler estão expressos na Tabela 3.

Tabela 3 – Distribuição granulométrica das areias com as adições de fíler

Identificação	Teor de fíler (%)
AN	0
ANF1,5	1,5
ANF6	6
ANF10	10

<b>Identificação</b>	<b>Teor de fíler (%)</b>
ABVSI	0
ABVSIF1,5	1,5
ABVSIF6	6
ABVSIF10	10
ABM	0
ABMF1,5	1,5
ABMF6	6
ABMF10	10
ABVSI#VSI	0
ABVSIF1,5#VSI	1,5
ABVSIF6#VSI	6
ABVSIF10#VSI	10
AN#VSI	0
ANF1,5#VSI	1,5
ANF6#VSI	6
ANF10#VSI	10

Cada composição mencionada na Tabela 3, resultaram em vinte diferentes argamassas que compuseram o programa experimental do presente trabalho. Como base para aplicação das argamassas de revestimento utilizou-se dois tipos de blocos cerâmicos que possuem diferentes absorções de água. O substrato é preparado com chapisco. A água utilizada no trabalho foi água com condições de potabilidade proveniente da rede de abastecimento público da cidade de São Leopoldo.

Foram realizados ensaios de caracterização na matéria prima e nas argamassas (no estado fresco e no estado endurecido). As Figuras 7 e 8 demonstram a organização da metodologia utilizada no estudo experimental deste trabalho.

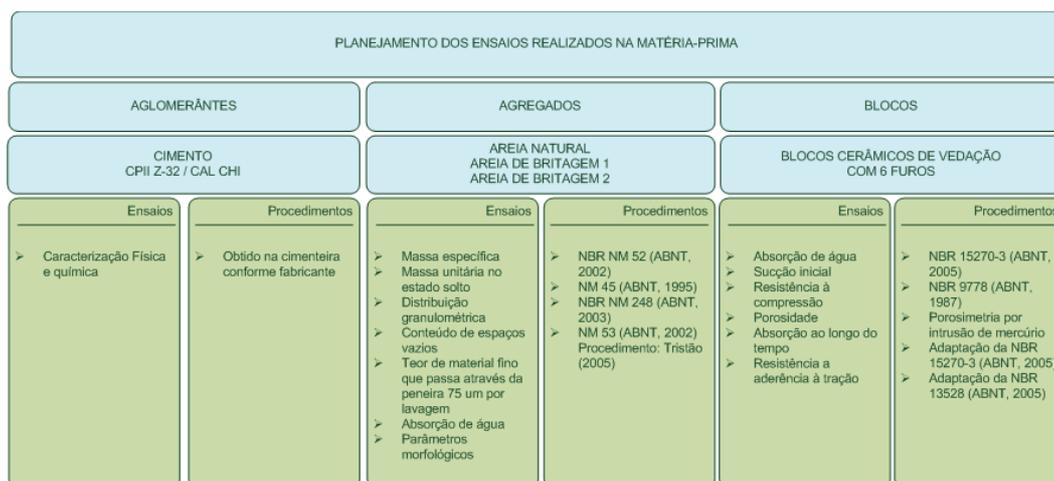


Figura 7 – Fluxograma do programa experimental da matéria-prima

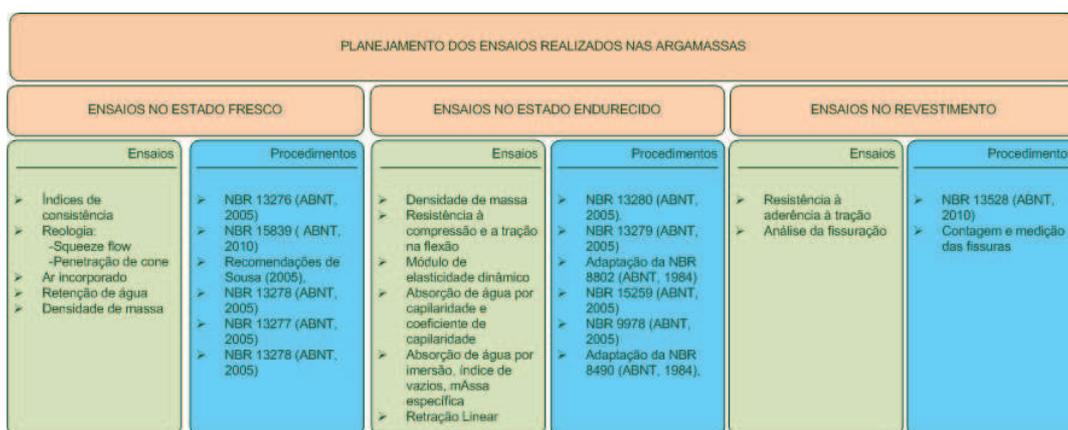


Figura 8 – Fluxograma do programa experimental das argamassas

### 3.1 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

#### 3.1.1 Aglomerantes

Os aglomerantes utilizados neste trabalho foram o cimento Portland CP II Z-32 e cal hidratada CH I. Fez-se uso do cimento Portland CP II-Z, por ser facilmente encontrado e de ampla utilização em argamassas no estado do Rio Grande do Sul. O cimento foi adquirido de um único lote. Os resultados dos ensaios de caracterização física, química e requisitos exigidos pela norma ABNT NBR 11578:1991 para o cimento CPII-Z-32 utilizado, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Caracterização física e química do cimento CII-Z-32.

Ensaio		Métodos de ensaio	Resultados	Requisitos exigidos pela NBR 11578
Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )		NBR NM 23	2,94	-
Finura	peneira # 200 (%)	NBR 11579	1,9	≤ 12,0 %
	peneira # 325 (%)	NBR 9202	6,8	-
Tempo de pega	Início (h:min)	NBR NM 65	03:50	≥ 1h
	Fim (h:min)		04:45	≤ 10h
Água Consistência (%)		NBR NM 43	32,2	-
Blaine (m <sup>2</sup> /kg)		NBR NM 76	471	≥ 260m <sup>2</sup> /kg
Resistência à compressão (MPa)	1 dia	NBR 7215	17,6	-
	3 dias		28,1	≥ 10,0 MPa
	7 dias		32,7	≥ 20,0 MPa
	28 dias		40,2	≥ 32,0 MPa
Componentes químicos (%)	perda ao fogo	NM 18	4,03	≤ 6,5
	resíduo insolúvel	NBR NM 15	13,75	≤ 16,0
	Trióxido de enxofre (SO <sub>3</sub> )	NBR 14656	2,31	≤ 6,5
	óxido de magnésio (MgO)		5,68	≤ 6,5
	dióxido de silício (SiO <sub>2</sub> )		23,08	-
	óxido de ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		3,39	-
	óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		6,91	-
	óxido de cálcio (Cão)		51,70	-

Fonte: Fabricante (2010)

O cimento utilizado encontra-se dentro dos padrões especificados pela norma ABNT NBR 11578:1991, para caracterização de um cimento CP II Z-32, quanto aos resíduos insolúveis, a perda ao fogo, ao óxido de magnésio, ao trióxido de enxofre, ao resíduo na peneira 75 $\mu$ m, a área específica, o tempo de início de pega, a resistência à compressão nos 3 dias, a resistência à compressão nos 7 dias de idade, a resistência à compressão nos 28 dias de idade e ao tempo de fim de pega, nas demais propriedades a norma não estipula limites.

Selecionou-se a cal hidratada CH I para compor as argamassas deste trabalho devido à sua pureza. A cal foi adquirida em sacos de 15 kg, todos de um único lote. Os resultados dos ensaios de caracterização física, química e os requisitos mínimos exigidos pela norma ABNT NBR 7175:2003 para cal hidratada tipo I, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Caracterização física e química da cal CHI.

Ensaio		Métodos de ensaio	Resultados	Requisitos exigidos pela NBR 7175
Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )		NBR NM 23	2,40	-
Massa unitária no estado solto (g/cm <sup>3</sup> )		NBR NM 45	0,74	-
Finura	resíduo na peneira # 200 (%)	NBR 9289	8,3	$\leq 10\%$
Componentes químicos (%)	perda ao fogo	NBR 6473	23,1	-
	resíduo insolúvel		7,0	-
	óxido de magnésio (MgO)		28,6	-
	óxido de cálcio (CaO)		40,9	-
	óxido totais (MgO + CaO)		90,4	$\geq 90\%$
	óxidos totais não hidratados		12,8	-
	dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )		< 7	-

Fonte: Fabricante (2010)

A cal utilizada encontra-se dentro dos padrões especificados pela norma ABNT NBR 7175:2003, para uma cal do tipo CH I, quanto à finura através da peneira 0,075mm e aos óxido totais. As demais propriedades especificadas pelo fabricante, não apresentam requisitos mínimos na referida norma.

### 3.1.2 Agregados

Utilizou-se duas areias de diferentes formas, uma AN de rio (AN), de origem quartzosa, da região de Porto Alegre, rio Jacuí, considerada areia de referência e duas areias de britagem basáltica, uma obtida por britador VSI (“vertical shaft impactor”) (ABVSI) e outra obtida por britador de mandíbulas (ABM), ambas produzidas em uma unidade de britagem instalada na localidade de Quatro Colônias, no município de Campo Bom-RS.

#### 3.1.2.1 Caracterização dos agregados

##### Caracterização física dos agregados miúdos

Os agregados foram caracterizados quanto a sua massa unitária no estado solto, massa específica, conteúdo de espaços vazios, determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem e determinação da absorção de água. Todos os resultados dos ensaios realizados estão especificados na Tabela 6, assim como as normas utilizadas para realização da caracterização dos mesmos.

Tabela 6 –Caracterização dos agregados.

Ensaio	Métodos de ensaio	Resultados		
		AN	ABVSI	ABM
Massa unitária no estado solto (kg/dm <sup>3</sup> )	NBR NM 45	1474,87	1360,75	1510,17
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	NBR NM 52	2,48	2,64	2,64
Conteúdo de espaços vazios (%)	NBR NM 45	40,7	48,5	42,8
Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem (%)	NBR NM 46	1,5	9,2	11,2
Determinação da absorção de água (%)	NBR NM 53	2,1	2,2	2

Analisando-se os valores mostrados na Tabela 6, observa-se que a massa unitária no estado solto da ABM é superior a da AN, que por sua vez é superior a da ABVSI. A massa específica da ABM e ABVSI (provenientes da mesma rocha) são superiores aos resultados encontrados para AN. O material fino que passa através da peneira de 75 $\mu$ m da ABM e ABVSI são muito superiores aos resultados encontrados para AN, sendo valores usuais em areias de britagem. A ABM e ABVSI apresentam maior teor de fíler em função do processo de britagem que desgasta a rocha gerando alto teor de fíler.

Vários autores afirmam que agregados miúdos de britagem possuem massa unitária menor comparada com o agregado miúdo AN, devido ao caráter irregular, ou seja, menos arredondado e muitas vezes lamelar das partículas do agregado miúdo de britagem de rocha basáltica (Tristão, 2005 e Freitas, 2010). A influência da forma do agregado pode ser observada ao se comparar a ABVSI com a ABM (a ABVSI tem a mesma massa específica da ABM e deve possuir uma forma mais próxima a da areia AN). Entretanto, em função das diferenças de massa específica entre os agregados e os maiores teores de material pulverulento observados nos agregados miúdos de britagem, o resultado observado para areia ABM quando comparada com AN, foi o inverso, com o agregado miúdo AN apresentando o menor valor de massa unitária. A AN apresenta a menor quantidade de espaços vazios quando comparada com a ABM e a ABVSI, possivelmente em função da forma dos grãos destas areias. A absorção de água de todos os agregados foi similar.

### **Distribuição Granulométrica**

A distribuição granulométrica dos agregados miúdos foi detalhada de forma completa nas peneiras da série normal e intermediárias, e as frações retidas foram separadas em cada peneira, desde a abertura de 9,5mm até o fundo para a análise morfoscópica de algumas destas frações. A distribuição granulométrica dos agregados naturais e de britagem de rocha basáltica estão apresentados na Figura 9 e no Apêndice A.

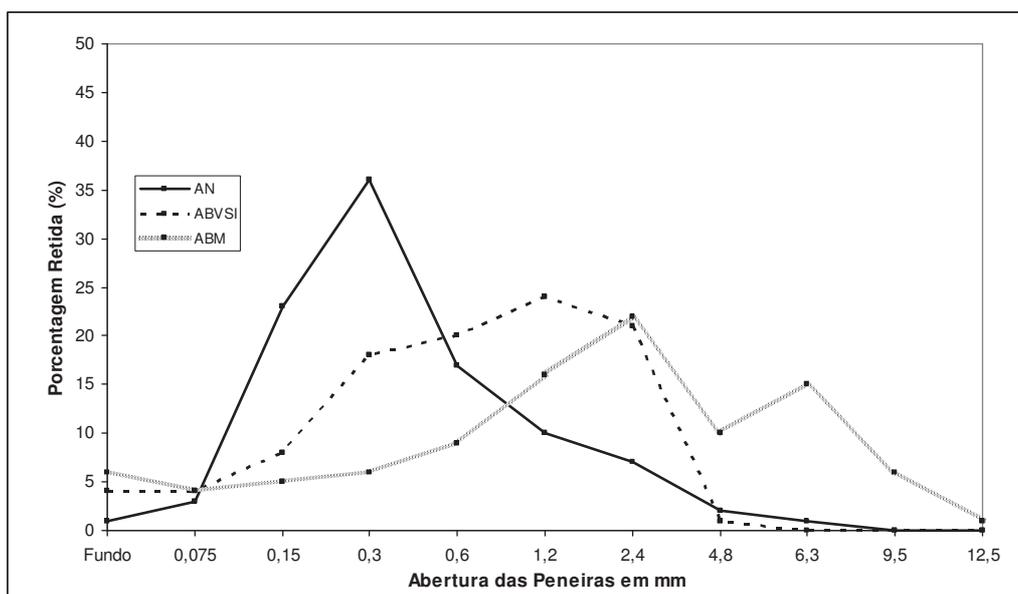


Figura 9 – Distribuição granulométrica das areias: AN, ABVSI e ABM.

Há diferenças significativas na distribuição granulométrica das três areias em seu estado AN. Há diferenças de concentração de grãos em todas as faixas com exceção da faixa de 0,075mm. Verifica-se que a AN possui maior quantidade de grãos nas peneiras de menor dimensão (0,30 mm (36%) e 0,15mm (23%)). A ABVSI apresenta uma composição mais uniforme (0,15 mm (8%), 0,3 mm (18%) e 4,8 mm (1%)), enquanto a ABM apresenta maior quantidade de grãos de maior dimensão quando comparada a AN e ABVSI (0,15 mm (5%), 0,3 mm (6%) e 4,8 mm (10%)).

Como o principal objetivo do estudo é analisar a influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas fez-se necessário igualar a distribuição granulométrica dos agregados. A Tabela 7 e o Apêndice B apresentam a curva da AN utilizada como referência para as argamassas da primeira parte do programa experimental, assim como a curva da ABVSI utilizada como referência na segunda parte do programa experimental.

Tabela 7 – Distribuição granulométrica das areias utilizadas como referência: AN e VSI.

Peneira		Porcentagem Acumulada AN	Porcentagem Acumulada ABVSI
Série Normal	Série Intermed.		
Fundo		100	100

Peneira		Porcentagem Acumulada AN	Porcentagem Acumulada ABVSI
Série Normal	Série Intermed.		
	0,075	100	100
0,150		97,9	94,7
0,300		79,4	83,3
0,600		50	60
1,2		17,9	32,8

A areia AN da presente pesquisa, proveniente do Rio Jacui da Região de Porto Alegre/RS, o agregado miúdo aluvionar da pesquisa de Freitas (2010) proveniente do Rio Iguazu/PR, e o agregado miúdo AN proveniente da região de Juiz de Fora/MG apresentada por Sampaio e Bastos (2009), apresentaram a maior concentração de material retido na peneira 0,3 mm. As curvas granulométricas dos agregados miúdos provenientes da britagem de rocha basáltica apresentadas por Tristão et al. (2005) e os agregados miúdos de britagem de rochas calcárias pesquisadas por Freitas (2010), apresentaram semelhanças com as areias de britagem basálticas analisadas no estudo, principalmente quando comparadas com a ABVSI, tanto na proporção das frações graúda com maior concentração de grãos retidos na peneira 1,2 mm, como nas faixas de granulometria entre 0,075 mm e 4,8 mm.

Uma distribuição granulométrica, com concentração de partículas de uma mesma dimensão, ocasiona a redução na distância média de separação entre partículas (CASTRO; PANDOLFELLI, 2009), sendo um importante parâmetro na análise da trabalhabilidade das argamassas. Por outro lado a distribuição granulométrica aberta, ou seja, com composição dimensional harmônica entre as partículas, sem picos de concentração em algumas dimensões (como a constatada nas areias de britagem do estudo, em seu estado original), beneficia o fluxo, pois os grãos menores ocasionam o distanciamento entre os maiores, reduzindo o atrito entre eles (FREITAS, 2010).

#### **Dimensão máxima dos grãos**

A dimensão máxima das areias naturais e de britagem estão expressas na Tabela 8. A dimensão máxima da ABM é superior a dimensão máxima encontrada para AN e ABVSI que são iguais.

Tabela 8 – Dimensão máxima das areias AN e britagem.

<b>Areias</b>	<b>Dimensão Máxima (mm)</b>
AN	4,8
ABVSI	4,8
ABM	12,5

### **Teor de fíler**

O teor de fíler foi definido através de duas amostras de um quilograma, de areia AN e areia de britagem, retidas na peneira 0,075 mm. Estas amostras foram lavadas e, posteriormente, secas em estufa até chegar à massa constante, logo, pesou-se novamente as amostras e assim, foi determinada a porcentagem de fíler de cada uma das areias, conforme Tabela 9.

Para melhor análise da influência da forma do grão nas propriedades das argamassas, fez-se necessário lavar toda a areia utilizada na produção das argamassas em estudo pra eliminação total do fíler. Após, acrescentou-se teores pré-determinados de fíler para analisar, também, a influência do fíler nas propriedades das argamassas.

Tabela 9 – Teor de fíler existente nas areias após peneiramento.

<b>Areias</b>	<b>Teor de Fíler (%)</b>
AN	1,5
ABVSI	9,2
ABM	11,2

Os teores de fíler determinados nas areia são coerentes com a bibliografia. O teor de fíler é superior na ABM, seguido pela ABVSI, e ambos são muito superiores ao da AN. Freitas (2010) ressalta que os elevados teores de fíler presentes nos agregado miúdos de britagem elevam consideravelmente o consumo de água para se obter determinada trabalhabilidade das argamassas.

Em função da dificuldade de se obter as quantidades necessárias de fíler especificadas no programa experimental para a padronização do teor de fíler entre as argamassas, decidiu-se utilizar, em todas as argamassas, o fíler da areia ABVSI, pois é o

fíler disponível em grande quantidade e espera-se que sua forma seja a mais próxima à do fíler da areia AN.

Para utilizar o fíler da ABVSI em todas as argamassas, fez-se necessário conhecer melhor, sua distribuição granulométrica, em função disso, decidiu-se realizar o ensaio de granulometria a laser no fíler da ABVSI. A distribuição granulométrica do fíler da areia ABVSI é visualizada na Figura 10 e no Apêndice C.

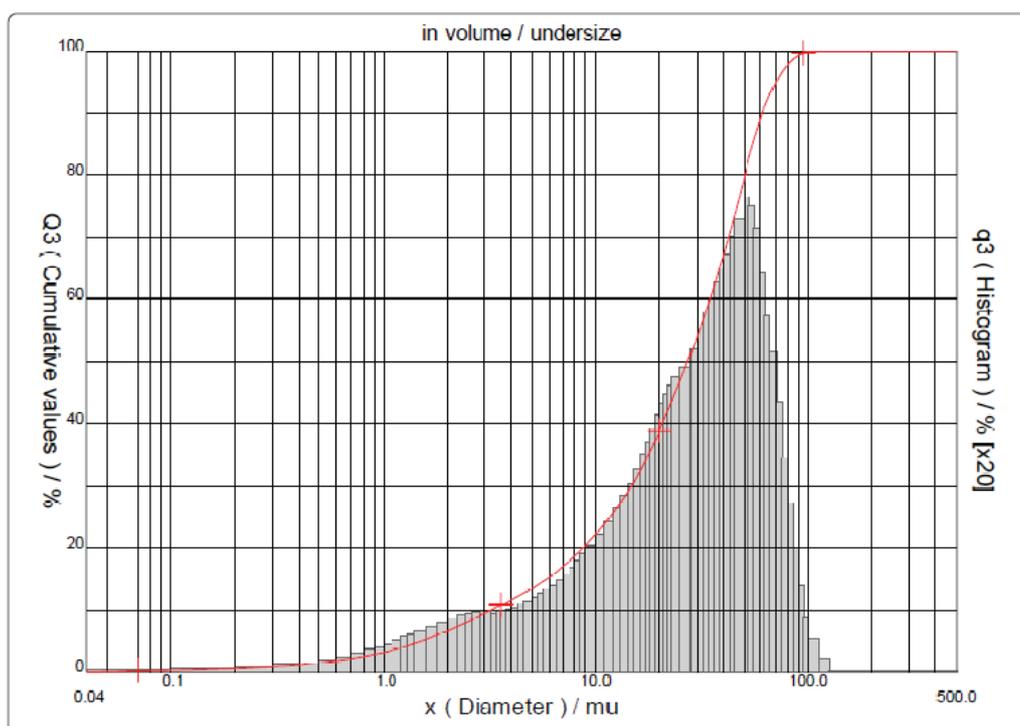


Figura 10 – Distribuição granulométrica do fíler da areia ABVSI.

Observa-se que apesar de haver sido realizada segregação por peneiramento, utilizando-se a peneira # 0,075mm, ainda existe uma parcela de grãos com dimensão superior a esta abertura de peneiras. Salienta-se que a separação de grãos por peneiramento não é eficaz o suficiente para eliminação dos grãos com dimensões superiores ou inferiores a abertura nominal da peneira, pois dependendo da forma do mesmo e da posição que encontra-se no processo, o grão pode passar na abertura da peneira mesmo possuindo dimensões maiores.

### Forma dos grãos

Para determinação da forma das areias foi aplicada a metodologia proposta por Araújo (2001) e aplicada por D`Agostino (2004), Tristão (2005) e Costa (2006). Para a análise da forma neste trabalho, as imagens conforme Figura 11, foram obtidas com o uso de uma câmera digital, marca Sony de 6,0 megapixels. As amostras de grãos são separadas por frações granulométricas, totalizando 400 unidades para cada fração, posteriormente são dispostas em uma lâmina de vidro e coladas com uma fita dupla face transparente permitindo maior facilidade na análise das imagens, posteriormente as amostras são posicionadas em uma caixa com uma fonte luminosa onde é utilizado como escala (um paquímetro), após as imagens são lançadas no software “image tool”. O software adquire as imagens de cada fração do agregado e possibilita a medição do comprimento da maior e menor dimensão, perímetro e área superficial de cada grão, para então calcular seus coeficientes de arredondamento e a esfericidade.

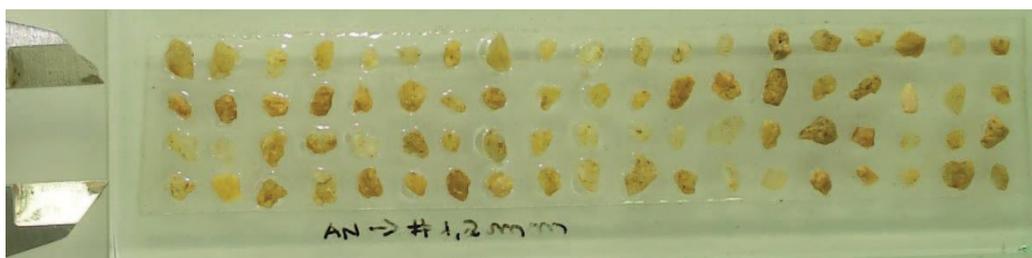


Figura 11 – Amostra da AN, retida na peneira de abertura 1,2mm.

O equipamento usado para separação granulométrica, para análise de forma dos grãos, foi um agitador de peneiras da marca Kamacha, utilizando peneiras de 50cm x 50cm, pelo tempo máximo de 10 minutos. O presente trabalho demonstra que a forma das partículas é de grande representatividade no consumo de água das argamassas.

### 3.2 COMPOSIÇÃO DO TRAÇO

Para definição do traço de argamassa a ser utilizado como padrão realizou-se dosagens experimentais com diferentes teores de aglomerantes e agregados, esses traços foram aplicados em substratos definidos como padrão e a argamassa selecionada foi a que apresentou o melhor índice de consistência e o maior valor de resistência a aderência com a mesma quantidade de água. Logo, o traço 1:1:6 apresentou-se o mais adequado para o presente estudo. Os traços utilizados no estudo piloto estão expressos na Tabela 10.

Tabela 10 – Estudo piloto

Traço (em volume)	Traço desdobrado (em volume)	Teor de água (%)	IC (mm)	Aderência à tração (MPa)
1:3	1:1:6	15,4	264	0,61
	1:1,5:7,5	15,4	226	0,30
	1:2:9	15,4	229	0,31
1:4	1:1:8	15,4	260	0,41
	1:1,5:10	15,4	239	0,37
	1:2:12	15,4	230	0,31
1:5	1:1:10	15,4	261	0,46
	1:1,5:12,5	15,4	222	0,28
	1:2:15	15,4	205	0,20

Para o presente trabalho produziu-se argamassas, no traço de volume em cimento, cal e areia, 1:1:6, com índice de consistência padrão proposto pela norma ABNT NBR 13276:2005 fixado em  $260\text{mm} \pm 5\text{mm}$  na mesa de consistência, para a argamassa de referência. Para a produção da argamassa e para todos os ensaios realizados controlou-se a temperatura  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  e a umidade  $(70 \pm 10)\%$  em sala climatizada. Dados complementares sobre a trabalhabilidade das argamassas foram obtidos a partir dos ensaios de squeeze flow e penetração de cone.

### 3.2.1 Produção das argamassas

As argamassas foram produzidas em uma argamassadeira de eixo horizontal. Segundo Setone, et. al (2009) e Romano et. al (2009) a energia e tempo de mistura são duas variáveis que afetam diretamente as características das argamassas no estado fresco, assim como a geometria do misturador.

A seqüência e o tempo de mistura dos materiais foram definidos e mantidos em todas as dosagens, segundo especificado na ABNT NBR 13276:2005 onde foi preparada com 24 horas de antecedência da utilização, uma argamassa de cal hidratada. Durante 4 min, misturou-se em velocidade baixa, no recipiente do misturador, areia, cal hidratada e água em quantidades definidas a partir do proporcionamento utilizado.

Pesou-se o material preparado. Após o intervalo de maturação (24 horas), pesou-se novamente o material preparado e acrescentou-se água correspondente à água eventualmente perdida por evaporação. Acrescentou-se o cimento em quantidades definidas a partir do traço estipulado. Realizou-se nova homogeneização por 4 min. em velocidade baixa, no recipiente do misturador. Em seguida mediu-se a consistência acrescentando mais água, se necessário, até chegar ao índice de consistência determinado, para a argamassa de referência. Após fixou-se a quantidade de água para as demais argamassas baseando-se na quantidade de água da argamassa de referência, o que resultou em diferentes índices de consistência entre as argamassas. O teor de água fixado para AN e para ABVSI estão expressos na Tabela 11.

Tabela 11 – Teores de água fixos

<b>Argamassas de referência</b>	<b>IC (mm)</b>	<b>Teor de água (%)</b>
AN	260 $\pm$ 5	15,42
ANF1,5	260 $\pm$ 5	15,00
ANF6	260 $\pm$ 5	14,75
ANF10	260 $\pm$ 5	14,00
ABVSI#VSI	260 $\pm$ 5	17,00
ABVSIF1,5#VSI	260 $\pm$ 5	17,59
ABVSIF6#VSI	260 $\pm$ 5	17,29
ABVSIF10#VSI	260 $\pm$ 5	16,52

### 3.3 PROPRIEDADES AVALIADAS – MÉTODOS DE ENSAIO

#### 3.3.1 Ensaios nas argamassas no estado fresco

##### Índice de consistência

Optou-se em fixar a água pelo índice de consistência por ser o ensaio mais utilizado para a fixação de água em argamassas. As argamassas foram moldadas em sala climatizada com temperatura de 23 °C  $\pm$  2°C e umidade de 70%  $\pm$  10%. O ensaio de índice de consistência foi executado de acordo com a ABNT NBR 13276:2005. A Figura 12 demonstra os equipamentos utilizados e a realização do ensaio: (a)

equipamentos utilizados para realização do ensaio de índice de consistência; (b) moldagem do cone; (c) golpes e; (d) medição do índice de consistência.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 12 – Moldagem do ensaio de índice de consistência.

### **Trabalhabilidade das argamassas**

Para determinação da trabalhabilidade das argamassas utilizou-se dois métodos: o squeeze flow e o ensaio de penetração de cone, descritos a seguir.

#### *- Squeeze Flow*

Segundo Silva et al. (2005), um método que analisa a consistência é o squeeze flow, que está sendo utilizado, devido, principalmente, à grande sensibilidade às variações da trabalhabilidade das argamassas. Consiste basicamente em medir o esforço necessário para comprimir uma suspensão coloidal entre duas placas paralelas. O

procedimento utilizado baseou-se nas recomendações de Silva et al. (2005) e norma ABNT NBR 15839:2010 para o ensaio do squeeze-flow.

O ensaio foi executado em duas velocidades de aplicação de carga diferentes: uma de 3mm/s (simulando a aplicação da argamassa por projeção mecânica) e outra de 0,1mm/s (simulando a aplicação da argamassa por uma pessoa). O tempo decorrido desde o término do preparo da argamassa até o início efetivo do ensaio (compressão) foi de 10 minutos para a velocidade de 3 mm/s e de 15 minutos para a de 0,1 mm/s.

A Figura 13 demonstra o procedimento de moldagem e a execução do ensaio: (a) nivela-se a superfície com a régua, para garantir um bom acabamento superficial, pois a placa superior deve tocar perfeitamente o material antes do início do ensaio; (b) retira-se o gabarito cuidando para garantir a centralização da amostra; (c) retira-se o anel metálico cuidadosamente para não alterar a geometria da amostra. Transporta-se, a placa inferior com a amostra centralizada para a máquina de ensaios. Coloca-se a placa sobre a base, garantindo a centralização em relação à placa superior. Limpa-se e seca-se a placa superior, desce-se a placa superior até que esta se aproximou da amostra. Encosta-se a placa superior na amostra, sempre monitorando os valores de carga para evitar compactação do material antes do início efetivo do ensaio; (d) e (e) a carga e o deslocamento são zerados. São registradas fotografias antes e depois do ensaio, pois a análise visual da amostra fornece informações do comportamento do material quanto à segregação das fases, ruptura por deformação plástica, extensão e forma de espalhamento e possíveis falhas experimentais; (f) foi observado se houve separação de fases (exudação), fluxo descontínuo do material, emissão de sons (causado pelo atrito entre agregados e/ou agregado e a placa). Após a retirada da amostra do equipamento, faz-se a avaliação tátil da argamassa ensaiada, para verificar qualitativamente a intensidade de separação de fases. Toca-se o centro e as regiões periféricas da amostra, verificando diferenças de concentração de agregados (em caso de separação de fases, ocorre maior concentração de agregados e compacidade no centro).

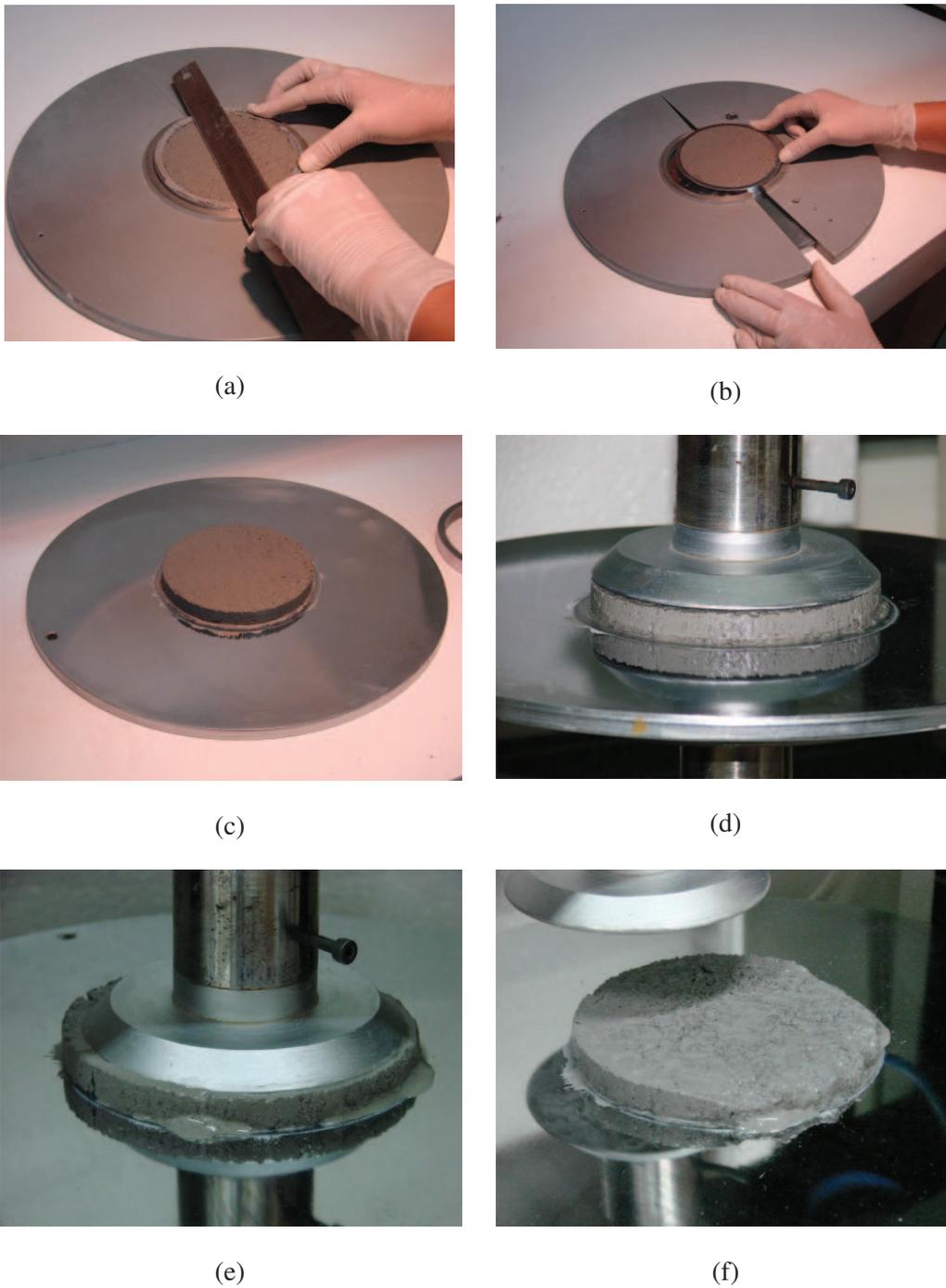


Figura 13 – Ensaio de squeeze flow.

*- Penetração de cone*

O ensaio de penetração de cone tem, como referência, a Norma ASTM C780 (2010) e o trabalho realizado por Sousa (2005), que descreve o procedimento de ensaio

utilizado na determinação da consistência de argamassas para assentamento de alvenaria. A aparelhagem utilizada pelo método consiste em um recipiente cilíndrico com diâmetro interno de  $76 \pm 1,6$  mm e uma profundidade de aproximadamente 88,1 mm, calibrada com um volume de água destilada de  $400 \pm 1$  ml em  $23^{\circ}\text{C}$ ; um suporte metálico, com dimensões e escala suficientes para permitirem leituras de penetração a uma profundidade em torno de 80 mm; uma régua metálica; um dispositivo feito em alumínio, tendo uma configuração em forma de cone, com diâmetro de 41,3 mm e altura total de 92 mm. Entretanto, deve-se ressaltar que a extremidade pontiaguda do cone deve ser arredondada de tal forma a estabelecer um dispositivo com altura global de 88,9 mm; uma haste metálica, que deve ser acoplada ao cone, com a função de servir de guia durante a execução do ensaio. A composição do conjunto é formada pela haste e o cone que devem ser ajustados para se obter uma massa total de 200g.

Logo após o procedimento de mistura, uma amostra de argamassa é retirada para preencher um recipiente cilíndrico com volume de  $429\text{cm}^3$ , no qual é realizado o ensaio de penetração de cone. Nessa etapa, a amostra é colocada no recipiente cilíndrico, procurando distribuí-la em três camadas iguais ao longo da altura. Em cada camada, foram aplicados 20 golpes, com soquete, de forma a permitir uma adequada acomodação e homogeneidade. Durante a execução do ensaio, a amostra foi colocada rente à parte inferior do cone de tal forma que o mesmo ficasse no ponto correspondente ao eixo do recipiente cilíndrico, tocando na superfície da amostra. Na seqüência, o dispositivo cônico é liberado em queda livre, permitindo que o mesmo penetre na amostra colocada abaixo. Passados 10 s, registra-se o valor da profundidade de penetração do cone, em mm, conforme Figura 14.



Figura 14 – Equipamento para ensaio de penetração de cone.

### **Teor de ar incorporado**

Para este trabalho foi utilizado a ABNT NBR 13278:2005 como referência para execução do ensaio. O método utilizado para determinação do teor de ar incorporado das argamassas em estudo não foi eficiente, demonstrando-se inadequado para o trabalho. Os valores encontrados para o teor de ar incorporado foram muito elevados, e não houve material suficiente para refazer os ensaios por outro método. Entretanto, a partir dos valores de densidade de massa espera-se compensar, ao menos parcialmente, esta deficiência.

### **Retenção de água**

Utilizou-se o programa experimental especificado na ABNT NBR 13277:2005 para moldagem e ensaio das argamassas. Para cada argamassa realizou-se uma medida de retenção de água. A Figura 15 nos mostra os equipamentos utilizados e a realização deste ensaio: (a) equipamentos utilizados no ensaio de retenção de água; (b) execução do ensaio.

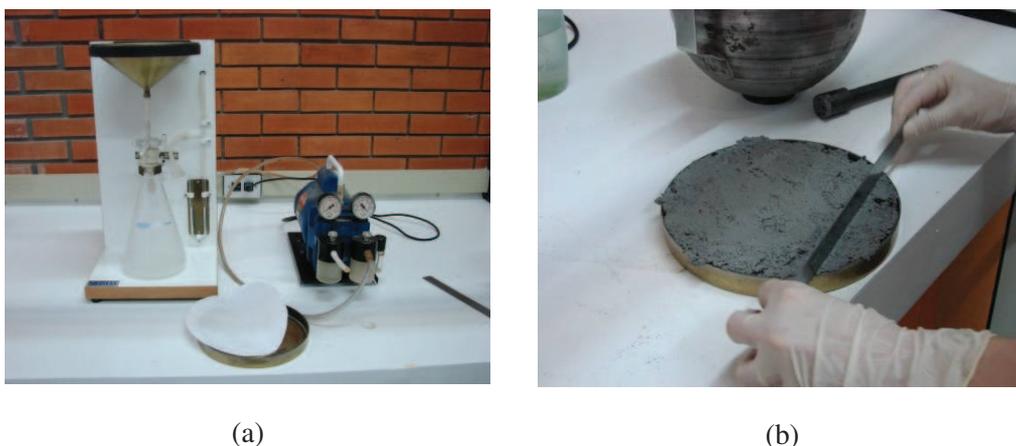


Figura 15 – Equipamentos e moldagem do ensaio de retenção de água.

### Densidade de massa

A densidade de massa foi determinada conforme a ABNT NBR 13278:2005. Para cada argamassa realizou-se uma medida de densidade de massa no estado fresco. A Figura 16 demonstra o recipiente utilizado para determinar a densidade de massa.



Figura 16 – Equipamento utilizado para o ensaio de densidade de massa.

### 3.3.2. Ensaio nas argamassas no estado endurecido.

Todos os corpos de prova são desmoldados quarenta e oito horas após a moldagem e mantidos em ambiente de laboratório com umidade ( $70\% \pm 10\%$ ) e temperatura ( $23 \pm 2$ )°C controladas por vinte e oito dias, até a execução dos ensaios.

### **Resistência à tração na flexão**

O ensaio para a determinação da resistência à tração na flexão foi executado segundo especificações da ABNT NBR 13279:2005. O ensaio é realizado em três exemplares de cada traço, com dimensões de 40mm x 40mm x 160mm, em uma prensa com velocidade de carregamento de  $50 \pm 10$  N/s. A Figura 17 demonstra a execução do ensaio de resistência à tração na flexão: (a) Corpo de prova antes do ensaio de resistência à tração na flexão; (b) corpo de prova após ensaio.

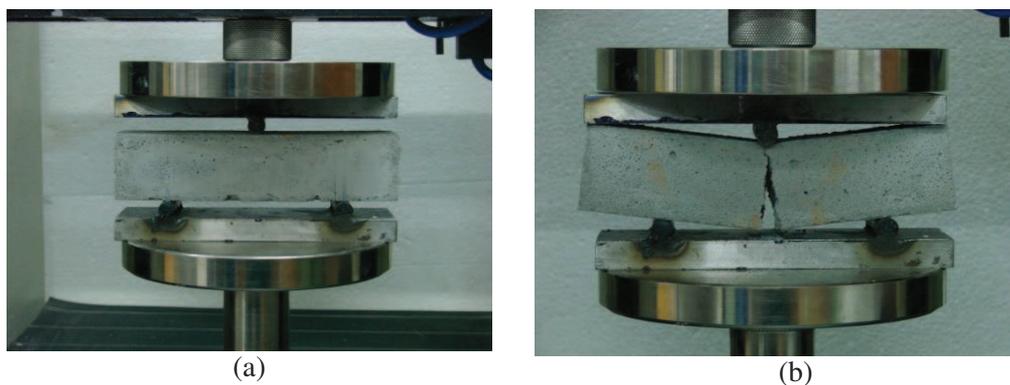


Figura 17 – Ensaio de resistência à tração na flexão antes e depois da aplicação da força.

### **Resistência à compressão**

Para cada traço, seis corpos-de-prova, foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão, de acordo com os padrões estabelecidos pela ABNT NBR 13279:2005. O ensaio é realizado adotando-se uma velocidade de carregamento de  $500 \pm 50$  N/s. Os corpos de prova utilizados neste ensaio foram obtidos do ensaio de resistência à tração na flexão, conforme ilustrado na Figura 18. A figura 18 mostra a execução do ensaio de resistência à compressão: (a) Corpo de prova antes do ensaio de resistência à compressão; (b) corpo de prova após ensaio.

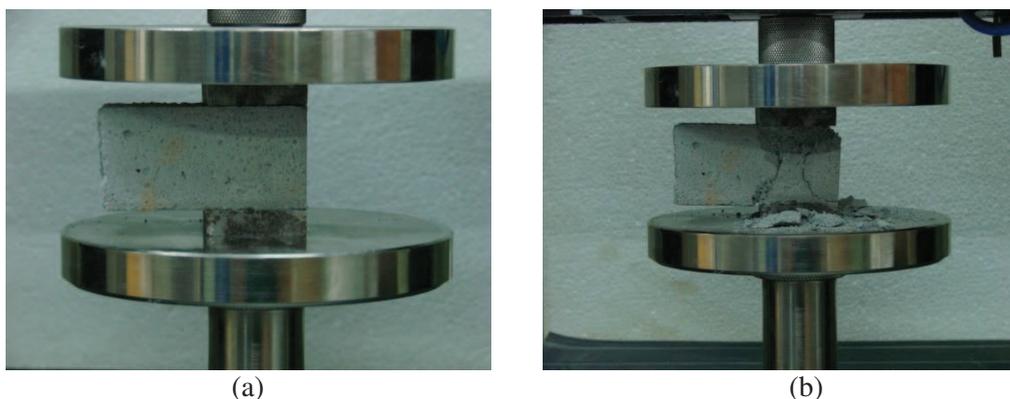


Figura 18 – Corpo de prova antes e depois do ensaio de resistência à compressão.

### **Densidade de massa no estado endurecido**

O ensaio de densidade de massa no estado endurecido foi realizado em três corpos de prova, para cada argamassa, conforme procedimentos descritos na norma ABNT NBR 13280:2005. A Figura 19 representa o corpo de prova onde foi realizado o ensaio de densidade de massa.



Figura 19 – Corpo de prova onde foi efetuado o ensaio de densidade de massa.

### **Módulo de elasticidade dinâmico**

O módulo de elasticidade dinâmico foi determinado com equipamento “Pundit” (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester), manuseado segundo os procedimentos da ABNT NBR 8802:1994. Foram utilizados três corpos-de-prova cilíndricos, com dimensão de aproximadamente 10cm de diâmetro, de argamassa para a realização deste ensaio. Moldaram-se corpos de prova diferenciados, pois o dispositivo disponível para realização do ensaio era de 5cm de diâmetro e ao ensaiar o corpo de prova de 4cm a onda ultra-sônica se dissipava gerando resultados distorcidos.

O módulo de elasticidade ( $E_d$ ) foi determinado através do método dinâmico, utilizando a Equação 1.

$$E_d = \rho \cdot v^2 \cdot \frac{(1+\nu) \cdot (1+2\nu)}{1-\nu} \quad \text{Equação (1)}$$

$E_d$  = densidade de massa no estado endurecido em  $\text{kg/m}^3$

$v$  = velocidade em que a onda ultra-sônica percorre o corpo de prova no sentido longitudinal em  $\text{km/s}$

$\nu$  = Coeficiente de Poisson que, segundo CALLISTER (2002), é a razão entre a deformação transversal e a razão longitudinal quando um corpo de prova é submetido a uma carga de compressão axial. Segundo CARNEIRO (1999), para argamassas o coeficiente varia de 0,10 a 0,20, sendo tanto menor quanto menor for a capacidade de deformação da argamassa. Sendo adotado para o devido trabalho o valor de 0,10.

O ensaio consiste em encontrar a velocidade em que a onda ultra-sônica percorre o corpo de prova, utilizando o equipamento “Pundit”, conforme a Figura 20, antes da realização do ensaio o equipamento foi calibrado com uma barra padronizada: (a) equipamentos utilizados no ensaio de módulo de elasticidade dinâmico; (b) execução do ensaio.

A velocidade da onda ultra-sônica será obtida utilizando-se a Equação 2.

$$v = \frac{d}{t} \quad \text{Equação (2)}$$

$d$  = altura do corpo de prova, em  $\text{km}$

$t$  = tempo em segundos, que a onda ultra-sônica percorre a distância  $d$ , obtido através do equipamento PUNDIT.



(a) (b)  
Figura 20 – Equipamentos e execução do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico.

### **Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade**

A absorção de água das argamassas produzidas e o coeficiente de capilaridade foram determinados seguindo a prescrição da norma ABNT NBR 15259:2005. Para cada traço foram ensaiados três corpos-de-prova com dimensões de 40 x 40 x 160 mm.

O coeficiente de capilaridade é o coeficiente angular da reta, tomando-se no eixo das abscissas a raiz quadrada dos tempos de 10 minutos e 90 minutos e no eixo das ordenadas as absorções de água correspondentes há estes tempos. A Figura 21 ilustra a execução do ensaio.



Figura 21 – Ensaio de absorção de água por capilaridade.

### **Absorção de água, índices de vazios e massa específica**

A absorção de água, o índice de vazios e a massa específica das argamassas produzidas foram determinados segundo os procedimentos da norma ABNT NBR

9778:2009. Para cada traço foram ensaiados três corpos-de-prova. A Figura 22 demonstra a execução do ensaio.



Figura 22 – Ensaio de absorção de água.

### **Retração linear**

A retração linear foi determinada segundo adaptação dos procedimentos descritos na ABNT NBR 8490:1984, sendo utilizados três corpos de prova para cada traço de argamassa confeccionado. Para medir a retração linear das argamassas utilizou-se o equipamento para medição volumétrica tridimensional da marca Mitutoyo, modelo serial 014471, conforme Figura 23 (a).

Antes da realização da moldagem das argamassas, as formas foram medidas no equipamento tridimensional. Após a moldagem as argamassas foram armazenadas em sala climatizada com temperatura de  $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  e umidade de  $70\% \pm 10\%$ . Após vinte e quatro horas de moldagem das argamassas, as mesmas foram desmoldadas com muito cuidado e levadas até o equipamento para realizar as primeiras medições, cada corpo de prova foi medido em cinco pontos distintos. A primeira leitura foi realizada com vinte quatro horas após a moldagem, pois o equipamento permitia a aquisição das dimensões com o corpo de prova apoiado horizontalmente sobre a mesa de teste, conforme Figura 23 (b). As demais leituras foram extraídas nas seguintes idades: sete, catorze, vinte e um e vinte e oito dias de idade.

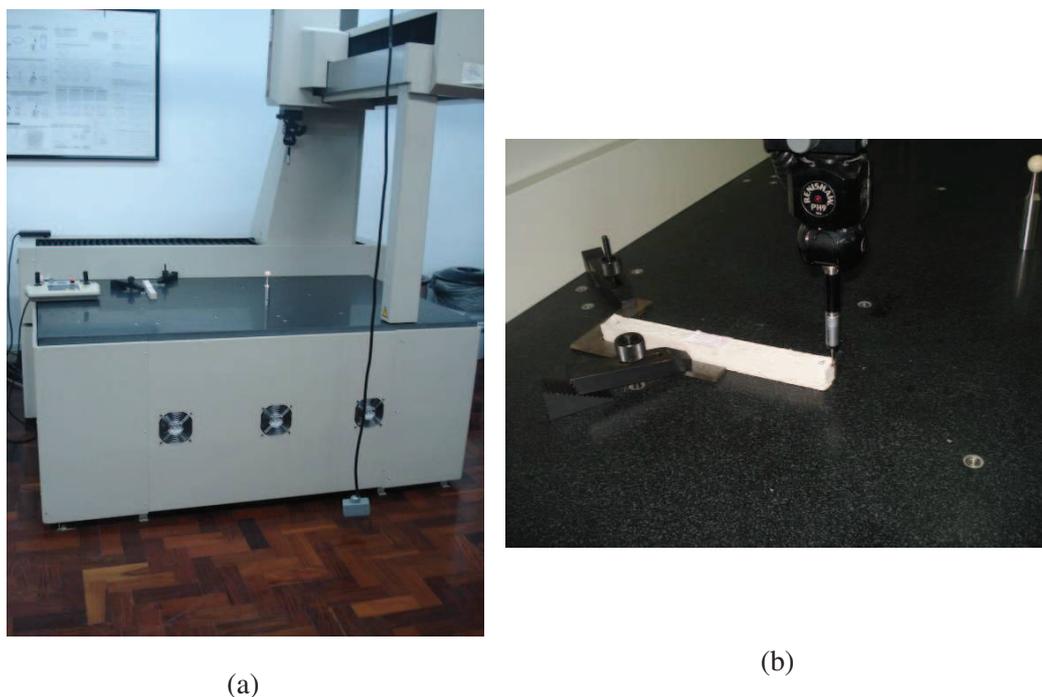


Figura 23 – Equipamento e ensaio de retração linear.

### 3.3.3 Blocos cerâmicos

Utilizou-se blocos cerâmicos de vedação com seis furos, estes blocos foram obtidos em uma olaria localizada na região. Adquiriu-se os blocos crus, secou-se em estufa a uma temperatura de 100°C e queimou-se em duas temperaturas: 700°C denominado bloco de baixa sucção inicial (BbSi) e 1000°C, denominado de bloco de alta sucção inicial (BaSi), com velocidade de aquecimento de 2,5°C/min. e patamar de 720 min., a fim de se obter diferentes porosidades e conseqüentemente diferentes coeficientes de absorção de água. Os procedimentos de secagem e queima foram realizados no laboratório de materiais da Unisinos. Estes blocos constituíram o substrato para receber o revestimento em estudo no trabalho.

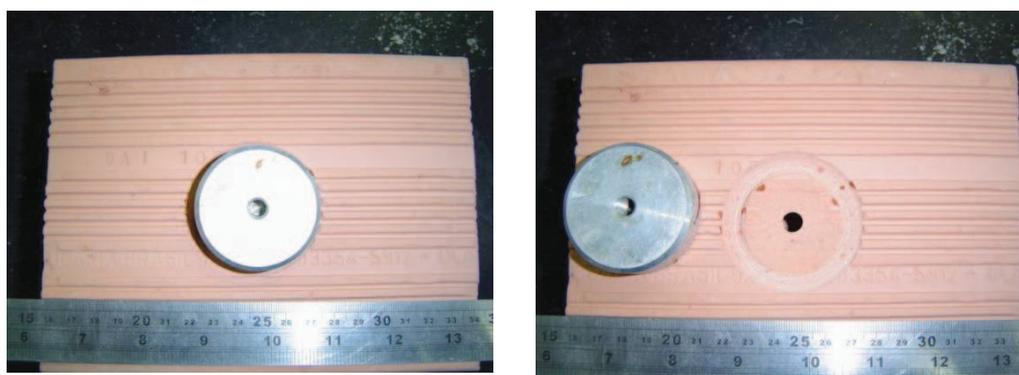
Os blocos cerâmicos utilizados para a elaboração das mini-paredes, tanto os queimados a 700°C quanto os queimados a 1000°C, foram submetidos a ensaios de caracterização (dimensões, absorção de água, absorção inicial, resistência à compressão, resistência à tração, massa específica) segundo as normas ABNT NBR 15270-3:2005 e ABNT NBR 9778:1987. Os resultados médios de treze blocos ensaiados após as queimas, conforme metodologia de pesquisa, estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Caracterização dos blocos cerâmicos.

Bloco	Temp. Queima (°C)	Dimen. (mm)	Resis. à tração (MPa)	Resis. à comp. (MPa)	Massa esp. (kg/m <sup>3</sup> )	Absorção inicial de água (g/193,55 cm <sup>2</sup> /min)	Abs. total de água (%)
BbSi	700	92x141x188	0,26	0,60	1836	16,46	17,2
BaSi	1000	90x140x187	0,98	2,40	1973	29,56	15,7

Analisando-se os resultados com base nas especificações da ABNT NBR 15270-1:2005 pode-se observar que os blocos BbSi e os BaSi foram aprovados em todos os quesitos à exceção da resistência à compressão, no bloco BbSi.

Além dos ensaios especificados em norma, foi determinada a resistência à tração dos blocos, conforme Figura 24 (a) pastilha para ensaio de aderência colada no bloco; 24 (b) ensaio realizado, de modo a subsidiar a análise dos resultados dos ensaios de resistência a aderência das argamassas. Observou-se que a resistência a tração dos blocos BbSi é muito pequena (0,26MPa), o que poderá gerar dificuldades no ensaio de arrancamento das argamassas, que eventualmente poderão apresentar resistência a tração superior a resistência encontrada para estes blocos, rompendo o substrato (bloco) ao invés da argamassa analisada.



(a)

(b)

Figura 24 – Ensaio de aderência à tração em blocos cerâmicos.

A absorção de água diminui numa relação inversa ao aumento da resistência à compressão e da massa específica, sendo maior no bloco BbSi. Por outro lado, o bloco BaSi possui maior absorção de água por capilaridade, no primeiro minuto de contato da

água com o substrato, do que o bloco BbSi. Com base neste parâmetro realizou-se um ensaio de absorção de água por capilaridade nos blocos durante um período de duas horas, com pesagens realizadas inicialmente de minuto em minuto até os cinco primeiros minutos e após, de cinco em cinco minutos até duas horas. As informações se confirmaram permanecendo a sucção do bloco BaSi sempre maior até completada as duas horas de ensaio, conforme pode ser visualizado na Figura 25. A Figura 26 demonstra a execução do ensaio de absorção de água por capilaridade em blocos cerâmicos.

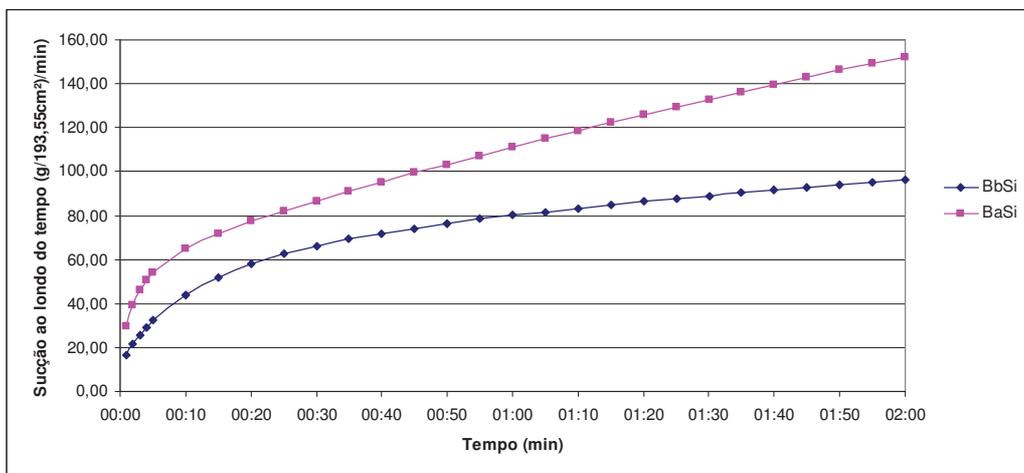


Figura 25– Gráfico do ensaio de absorção de água por capilaridade dos blocos cerâmicos.



Figura 26– Ensaio de absorção de água por capilaridade dos blocos cerâmicos.

### 3.3.3.1 Distribuição dos poros dos substratos

Foi realizado o ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio para caracterizar a distribuição dos poros nos blocos verificando a influência dos mesmos com a absorção de água.

A distribuição de poros das duas bases é diferente, conforme Figura 27. Os blocos BbSi possuem um maior volume de poros acumulados, sendo coerente com os resultados do ensaio de absorção de água. Os blocos BaSi possuem aproximadamente 15% do total de poros presentes capilares (situados entre 5 e 10  $\mu\text{m}$ ), enquanto que os blocos BbSi praticamente não apresentam poros nesta região, conforme observado na Figura 28, o que faz com que os blocos BaSi apresentem maior absorção de água por capilaridade no contato com a argamassa.

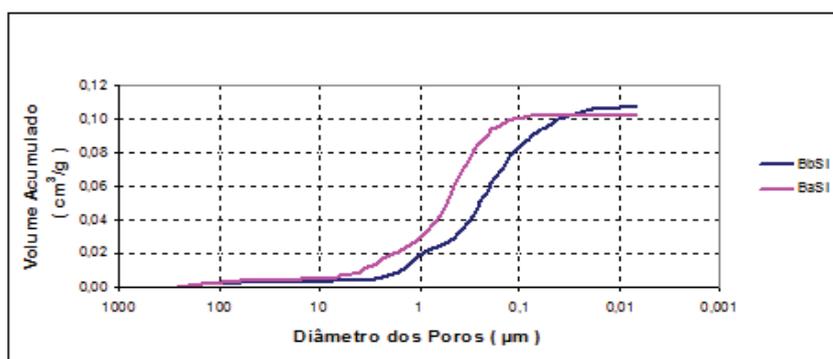


Figura 27 – Volume de poros acumulados dos blocos cerâmicos utilizados como substratos.

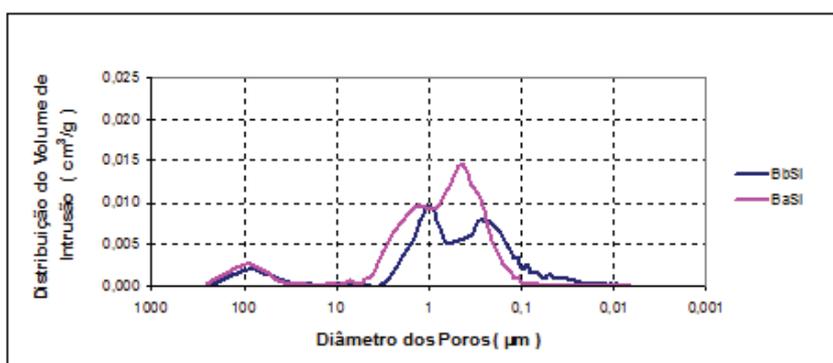


Figura 28 – Distribuição de poros dos blocos cerâmicos utilizados como substratos.

### 3.3.4 Mini-paredes

A fim de minimizar o efeito da variável mão-de-obra no estudo, todas as mini-paredes, em todas as etapas de confecção (assentamento dos blocos, chapisco e

aplicação dos revestimentos), foram executadas por um único profissional. Assim, foi possível reduzir ao máximo o efeito das variáveis não controláveis.

Foram moldadas mini-paredes nas dimensões de 60 x 60 cm, sendo dez delas com blocos queimados à 700°C e as outras dez com os blocos queimados à 1000°C.

Primeiramente os blocos foram assentados com uma junta de assentamento de aproximadamente um centímetro, após vinte e oito dias da cura da argamassa de assentamento foi realizado o chapisco em cada uma das mini-paredes no traço de 1:3, em volume com areia AN peneirada, ou seja, passante na peneira de malha 4,8mm, conforme distribuição granulométrica apresentada na Figura 29. Passados vinte e oito dias da cura do chapisco, foi realizado o revestimento das mini-paredes com uma espessura fixada em 20mm  $\pm$ 2mm, na seguinte seqüência: lançamento da argamassa, após cinco minutos realizou-se o sarrafeamento e após quinze minutos execução do desempenho.

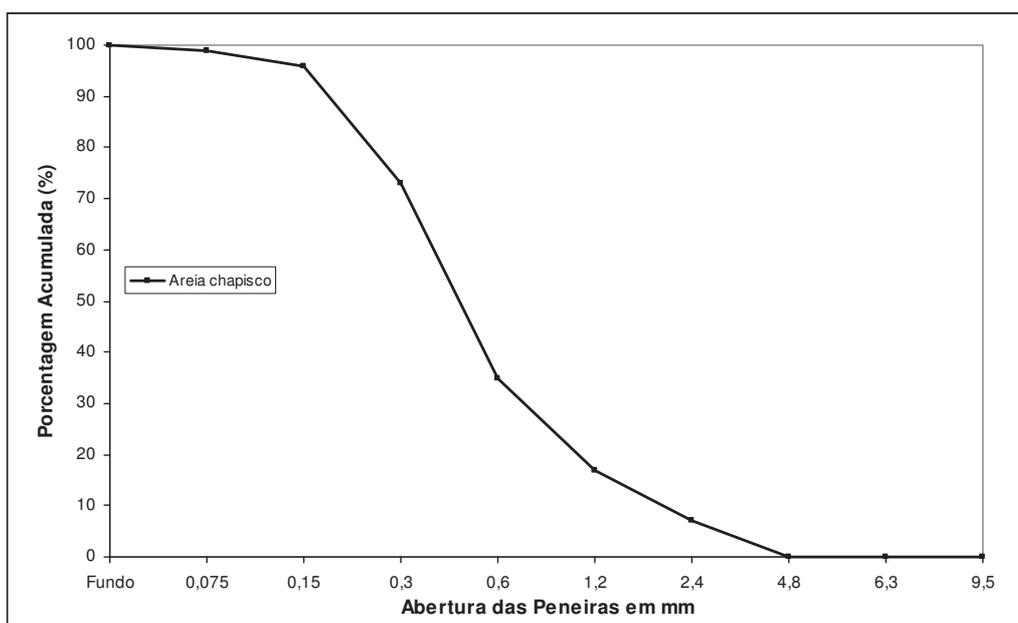


Figura 29 – Distribuição granulométrica da areia utilizada no chapisco.

Os revestimentos foram curados no laboratório de materiais de construção civil da Unisinos, em sala climatizada com temperatura (23°C $\pm$ 2°C) e umidade (70% $\pm$ 10%) controladas, cobertos e protegidos de chuva, sol e vento.

### Determinação da resistência de aderência à tração

A determinação da resistência de aderência à tração dos revestimentos seguiu as recomendações da ABNT NBR 13528:2010, o equipamento utilizado é da marca Dinatest, modelo DS2-DPU-1100, com capacidade máxima de 5000N. Foram realizados no mínimo doze furos em cada parede, porém em alguns furos não foi possível determinar a aderência (em função da aderência do revestimento estar muito baixa), resultando em uma quantidade menor de ensaios de resistência de aderência à tração para cada uma das argamassas aplicadas nas mini-paredes. A Figura 30 demonstra o ensaio de aderência realizado nas mini-paredes: (a) mini-paredes confeccionadas com blocos BbSi; (b) mini-paredes confeccionadas com blocos BaSi.

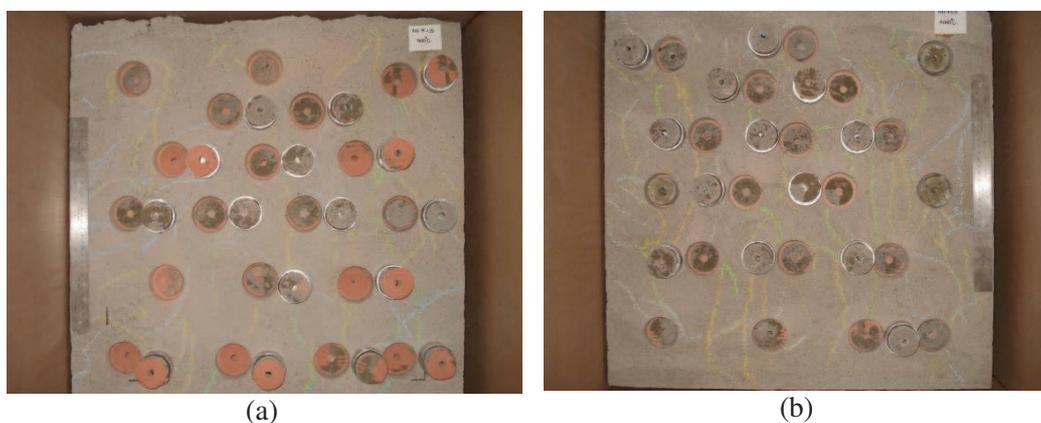


Figura 30 – Ensaio de aderência à tração.

### Análise da fissuração

Para análise da fissuração, foi medida a extensão das fissuras visíveis na superfície de cada revestimento de argamassa, em diferentes idades. A análise da fissuração dos revestimentos de argamassa foi feita no dia de aplicação do revestimento, vinte e quatro horas, aos sete, quatorze, vinte e um e aos vinte e oito dias de idade por meio de fotografias e medição da extensão das fissuras.

Esta análise tem por objetivo verificar a influência dos diferentes tipos de argamassas e dos diferentes substratos na fissuração dos revestimentos utilizados.

#### 3.3.5 Quantitativo de corpos de prova.

A Tabela 13 demonstra os ensaios realizados nas argamassas e o quantitativo de corpos de prova executados para cada ensaio.

Tabela 13 – Ensaios e quantidades de corpos de prova

<b>Ensaios</b>	<b>Quant. de corpos de prova</b>	<b>Quant. de argamassas</b>	<b>Total de corpos de prova ensaiados</b>
Índice de consistência	1	20	20
Squeeze Flow	3	20	60
Penetração de cone	1	20	20
Retenção de água	1	20	20
Densidade de massa no estado fresco	1	20	20
Resistência à compressão	6	20	120
Resistência à tração na flexão	3	20	60
Módulo de elasticidade dinâmico	3	20	60
Absorção de água por capilaridade	3	20	60
Absorção de água total	3	20	60
Retração	3	20	60
Densidade de massa no estado endurecido	3	20	60
Índice de vazios	3	20	60
Resistência de aderência à tração (arrancamento)	12	20	240
Análise da fissuração	1	20	20
<b>Total de corpos de prova</b>			<b>940</b>

## 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados da análise de forma dos grãos dos agregados utilizados na produção das argamassas, bem como os resultados dos ensaios no estado fresco, endurecido e o desempenho das argamassas quando aplicadas em dois substratos distintos.

### 4.1 FORMA DOS GRÃOS

Nas Tabelas 14 e 15 são apresentados os resultados obtidos nas diferentes frações granulométricas das areias através das análises das imagens.

Tabela 14 – Média das áreas e perímetros das projeções dos grãos.

Fração (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )			Perímetro (mm)		
	AN	ABVSI	ABM	NA	ABVSI	ABM
1,2	7,792	5,9647	9,0233	11,9655	10,6158	13,6633
0,6	1,9404	2,4992	2,7478	5,7299	6,4710	6,9456
0,3	0,5418	0,4868	0,5276	2,9120	2,7858	2,9272
0,15	0,1314	0,3636	0,1692	1,3172	2,3449	1,5757
0,075	0,0448	0,2050	0,0514	0,7626	1,7236	0,8077

Tabela 15 – Média das dimensões máximas das projeções dos grãos.

Fração (mm)	Dimensão máxima (mm)		
	AN	ABVSI	ABM
1,2	3,8139	3,3882	4,3758
0,6	1,8321	2,1980	2,3855
0,3	0,9553	0,9194	1,0031
0,15	0,2496	0,7769	0,5194
0,075	0,2481	0,5638	0,2614

Percebe-se que praticamente todas as frações da AN apresentaram áreas, perímetros e dimensões máximas menores do que as frações das ABVSI e ABM, com exceção das frações 1,2 mm e 0,3 mm.

Na comparação entre ABVSI e ABM observa-se diferenças ainda mais expressivas: em todas as frações a ABM apresenta a maior área, o maior perímetro e a maior dimensão máxima de grãos, com exceção das frações 0,15mm e 0,075mm.

Observa-se que há grãos com dimensão máxima muito superior ao tamanho da malha utilizada no peneiramento de cada fração granulométrica, o que demonstra que muitos grãos (que possuem forma alongada) passam pelas malhas das peneiras e se acumulam nas peneiras inferiores. Portanto, verifica-se que o ensaio de peneiramento não é eficiente para se conhecer a real distribuição granulométrica dos grãos. Estes resultados estão coerentes com as considerações de Ferlund (1998) e Kwan et al (1999) apud Tristão (2005) e Freitas (2010).

Tanto para a areia AN quanto para ABVSI e ABM, a dimensão máxima das projeções foi maior do que as aberturas das malhas das peneiras superiores das frações, provavelmente devido à eficiência do processo de vibração, que permite a passagem de grãos lamelares pelas peneiras. Ressalta-se que o equipamento utilizado e as condições de ensaios são as usuais para caracterização de agregados.

O grau de arredondamento e a esfericidade dos agregados foram realizados de duas formas: visual e quantitativa. A análise visual é realizada nas fotografias visualizadas nas Figuras 31, 32 e 33, comparando com os padrões gráficos de grau de esfericidade e arredondamento apresentados na Figura 2.



Figura 31 – Amostra AN, retida na peneira de abertura 1,2mm.



Figura 32 – Amostra ABVSI, retida na peneira de abertura 1,2mm.

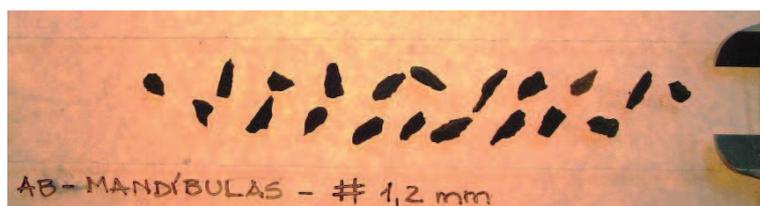


Figura 33 – Amostra ABM, retida na peneira de abertura 1,2mm.

Fazendo-se a avaliação visual das imagens obtidas, dos 400 grãos analisados em cada abertura de peneira (Figuras 31, 32 e 33) e comparando-as com a classificação apresentada na Figura 2, conclui-se que as partículas da ABM são angulosas com baixo grau de esfericidade, enquanto as partículas da ABVSI são subangulosas com baixo grau de esfericidade e as partículas da AN são subarredondadas com alto grau de esfericidade, conforme Tabela 16. As observações realizadas foram qualitativas, tornando-se possível observar através das fotos que o agregado miúdo AN apresenta a superfície dos grãos mais lisa do que os agregados miúdos de britagem e, quanto à angulosidade, um leve arredondamento nas pontas dos grãos e um formato mais cúbico do que os agregados miúdos de britagem, ou seja, pontos favoráveis a um melhor desempenho das argamassas em relação à trabalhabilidade.

Tabela 16 – Análise qualitativa dos grãos dos agregados miúdos.

Agregado miúdo	Padrões Gráficos							
	Grau de arredondamento		Grau de arredondamento		Grau de arredondamento		Grau de arredondamento	
	Arredondado		Subarredondado		Subanguloso		Anguloso	
	Grau de esfericidade		Grau de esfericidade		Grau de esfericidade		Grau de esfericidade	
	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo
AN	0%	5%	55%	25%	10%	5%	0%	0%
ABVSI	0%	0%	30%	10%	0%	60%	0%	0%
ABM	0%	0%	0%	0%	5%	20%	0%	75%

A partir da área, perímetro e dimensão máxima das projeções dos grãos, foram calculados dois parâmetros de forma do agregado: arredondamento e esfericidade.

O arredondamento foi calculado a partir da Equação 3, onde S é a área da projeção da partícula (mm<sup>2</sup>) e d máx é o diâmetro máximo de Feret (mm), obtidos nas imagens dos grãos, estando os resultados médios apresentados na Tabela 17.

$$A_r = \frac{4S}{\pi(d_{\max})^2}$$

Equação (3)

Tabela 17 – Arredondamento

Fração (mm)	Arredondamento		
	AN	ABVSI	ABM
1,2	0,6715	0,6515	0,5952
0,6	0,7286	0,6599	0,6206
0,3	0,7539	0,7311	0,6918
0,15	0,7798	0,7390	0,7693
0,075	0,7008	0,8051	0,7194

A areia AN quando comparada com a ABVSI e a ABM, apresentou maior arredondamento em praticamente todas as frações, com exceção da fração 0,075mm em que a ABVSI e ABM apresentaram maior arredondamento. Observa-se que nas frações menores ocorreu uma distorção nos resultados, pela dificuldade na medição dos grãos destas peneiras.

Comparando a ABVSI com a ABM nota-se que nas frações 1,2; 0,6; 0,3 e 0,075mm a ABVSI apresentou maior arredondamento.

Conforme Tristão (2005), as areias que apresentaram uma menor área, perímetro e dimensão máxima dos grãos são as que possuem um maior arredondamento, constatação confirmada pelo estudo realizado.

Na Figura 34 apresenta-se a variação do arredondamento com o tipo de areia e a fração, onde se observa claramente a diferença entre os tipos de areias analisadas para cada fração.

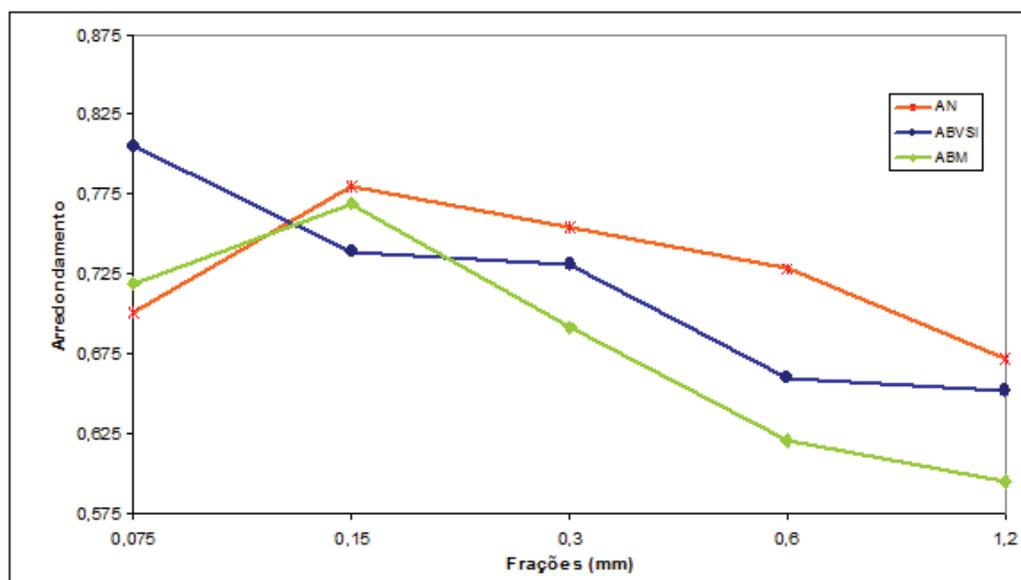


Figura 34 – Variação do arredondamento dos grãos das frações das areias.

A areia AN apresentou um melhor arredondamento quando comparada com as demais areias, com exceção da peneira de abertura 0,075mm. A areia ABVSI possui o segundo melhor arredondamento.

A esfericidade dos grãos das frações das areias, calculados a partir da Equação 4, onde S é a área da projeção da partícula (mm<sup>2</sup>) e P é o perímetro da projeção da partícula (mm), estão apresentados na Tabela 18 e na Figura 35.

$$F_f = \frac{4\pi S}{P^2} \quad \text{Equação (4)}$$

Tabela 18 – Esfericidade

Fração (mm)	Esfericidade		
	AN	ABVSI	ABM
1,2	0,6797	0,6670	0,6096
0,6	0,7430	0,7388	0,7010
0,3	0,7958	0,7754	0,7844
0,15	0,8225	0,7953	0,8163
0,075	0,7762	0,8415	0,7971

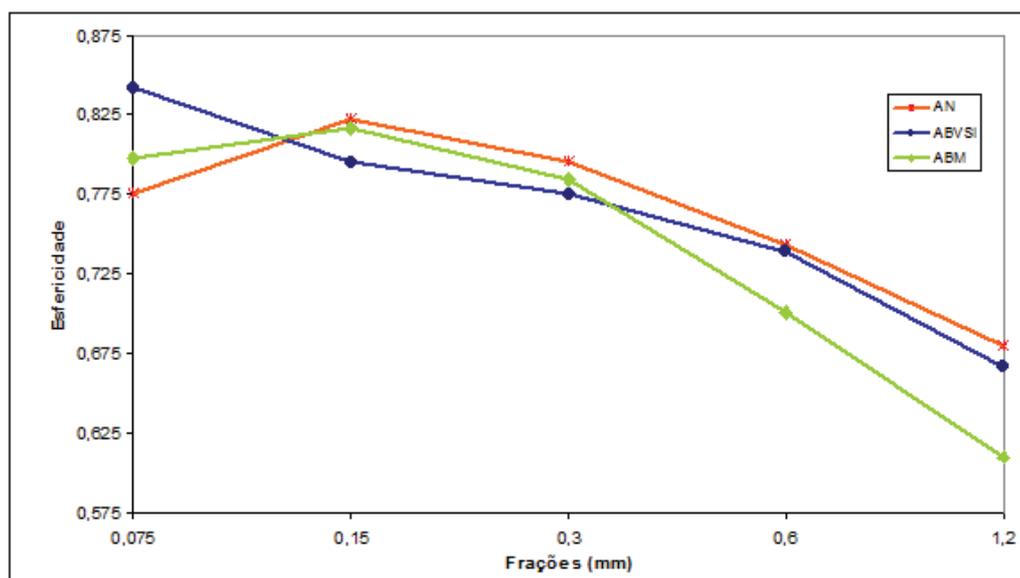


Figura 35 – Variação da esfericidade dos grãos das frações das areias.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 18 e na Figura 35, conclui-se que a AN quando comparada com a ABVSI e ABM, apresentou maior esfericidade em praticamente todas as frações com exceção da fração 0,075mm em que a ABVSI e

ABM apresentaram a maior esfericidade, essa distorção pode ter ocorrido pela dificuldade enfrentada em medir estes grãos, assim como descrito no arredondamento. Isso significa que as projeções dos grãos da AN são mais circulares que os da ABVSI que por sua vez são mais circulares, nas frações 1,2; 0,6 e 0,075mm, que a ABM. Ao comparar a ABVSI e ABM nota-se que para as frações 1,2; 0,6 e 0,075mm a ABVSI apresentaram uma maior esfericidade, já para as frações 0,3 e 0,15 a areia ABVSI apresentaram menor esfericidade.

Observa-se que os resultados da análise visual e da análise quantitativa são coerentes, confirmando que a AN apresenta a melhor forma de grãos nas duas análises, seguida pela ABVSI e a ABM, que foi a areia que apresentou a pior forma.

Constata-se que a influência da forma das areias no empacotamento das partículas é marcante. Salienta-se a grande diferença entre a esfericidade e o arredondamento das areias quando se muda a origem e o tipo de britador utilizado para obtenção das mesmas.

Conforme Tristão (2005), a distribuição granulométrica das areias influencia o volume de vazios, com conseqüência na proporção de mistura das argamassas, mas que a forma dos grãos que compõem a areia exerce maior influência. Diferentes composições granulométricas irão conduzir a diferenças no índice de vazios das areias. A forma dos grãos que compõem estas areias exerce uma forte influência no índice de vazios das areias. Portanto, areias de diferentes origens e britadas de maneiras diferentes, com a mesma distribuição granulométrica em massa, terão diferentes índices de vazios e em geral, quanto maior o arredondamento e a esfericidade dos grãos, menores os índices de vazios das areias.

## **4.2 ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO PRODUZIDAS NA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA (AN)**

### **4.2.1 Índice de Consistência**

A partir do traço definido para AN, foram elaboradas as argamassas ABVSI e ABM, mantendo-se todos os parâmetros fixos, exceto o tipo de agregado. Esta substituição resultou em diferentes índices de consistência para as diferentes argamassas. O mesmo procedimento foi adotado para os traços com filler, em teores de

1,5; 6 e 10%. Na Figura 36 e no Apêndice D é apresentado o valor do índice de consistência correspondente às médias entre três leituras consecutivas, para cada argamassa ensaiada. O Apêndice D apresenta também, os teores de água das argamassas.

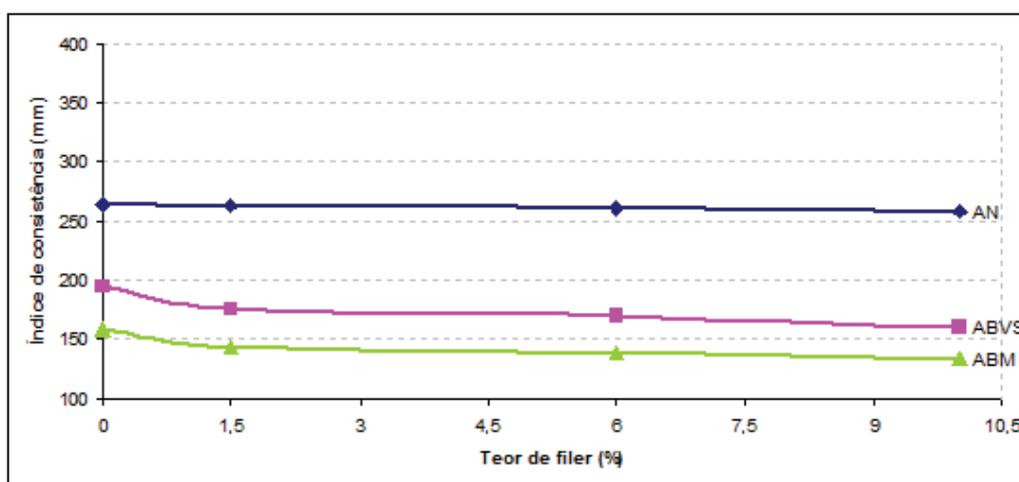


Figura 36 – Índice de consistência

Percebe-se claramente que as argamassas onde a AN foi substituída pela ABVSI e ABM perderam trabalhabilidade, apresentando decréscimos no índice de consistência quando comparadas as argamassas com AN. A argamassa com AN necessita menores quantidades de água que a argamassa produzida com ABVSI e ABM para atingir a consistência padrão fixada em  $(260 \pm 5)$  mm. Este fato se deve provavelmente à forma dos grãos, pois nas argamassas AN os grãos são mais arredondados e escorregam melhor não necessitando de tanta água para que isso aconteça sobre a mesa de teste. Em suas pesquisas Pandolfo e Masuero (2005) também destacam este acontecimento.

Para a argamassa produzida com AN o acréscimo de fíler melhora a trabalhabilidade das argamassas exigindo menores quantidades de água (uma redução que variou de 2,6 a 9,1% conforme foi aumentando a quantidade de fíler na mistura) para manter a consistência constante fixada. O ensaio realizado apresenta uma tolerância de  $\pm 5$ mm, o que resultou em uma pequena tendência de queda da consistência ao aumentar a quantidade de fíler, porém dentro dos parâmetro de aceitação estabelecidos para o ensaio.

Nos traços com areia de britagem, houve um decréscimo no índice de consistência quando acrescentado fíler à mistura, pois não houve correção da quantidade

de água necessária para compensar a adição de fíler, nas areias de britagem. Utilizou-se a mesma quantidade de água das argamassas de referência confeccionadas com AN e suas respectivas adições de fíler.

Percebe-se que para a AN sem fíler o índice de consistência é maior que para a ABVSI com 0% de fíler variando em média 26% e que para ABM com 0% de fíler variando em média 40%, devido à maior angulosidade dos grãos das areias de britagem.

Nas areias de britagem, percebe-se que quanto maior o acréscimo de fíler maior a perda de consistência da argamassa. Ao se acrescentar 1,5% de fíler nas misturas percebe-se que a AN apresenta um índice de consistência em torno de 33% maior que ABVSI e 45% maior que ABM. Para teores de 6% de fíler a AN apresenta um índice de consistência maior em torno de 35% para ABVSI e 47% para ABM. Já para um acréscimo de fíler de 10% o acréscimo do índice de consistência da AN passa a ser 38% para ABVSI e 48% para ABM.

## **4.2.2 Trabalhabilidade das Argamassas**

### **4.2.2.1 Squeeze Flow**

Para determinação da trabalhabilidade das argamassas utilizou-se o ensaio do squeeze flow. Os resultados obtidos para as argamassas AN, ABVSI e ABM, estão expressos nas Figuras 37 e 38. As observações sobre a facilidade de aplicação da argamassa são decorrentes da opinião de um profissional por ocasião da aplicação destas argamassas sobre alvenarias, detalhadas no item 4.5, e servem como parâmetro para melhor entendimento dos resultados dos ensaios realizados.

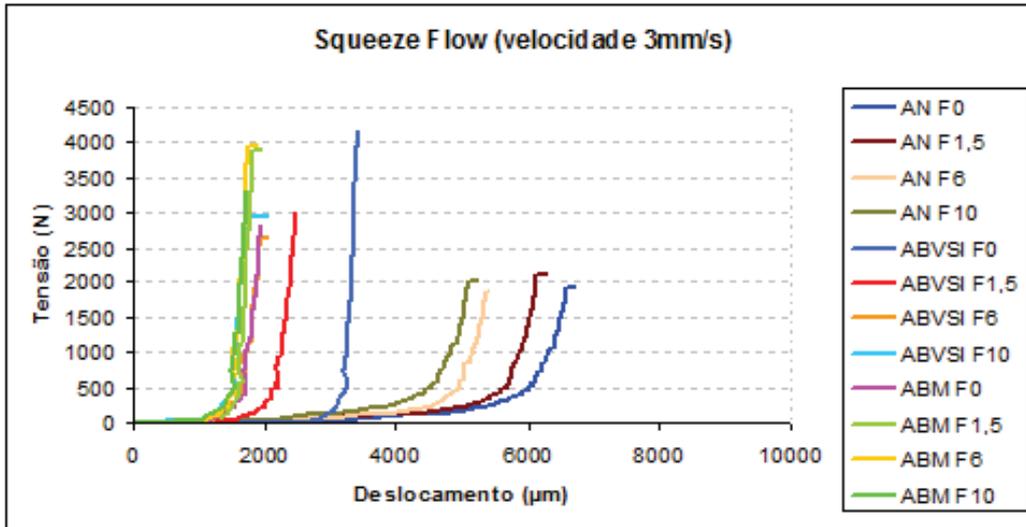


Figura 37 – Curvas de tensão x deslocamento ( $v=3\text{mm/s}$ )

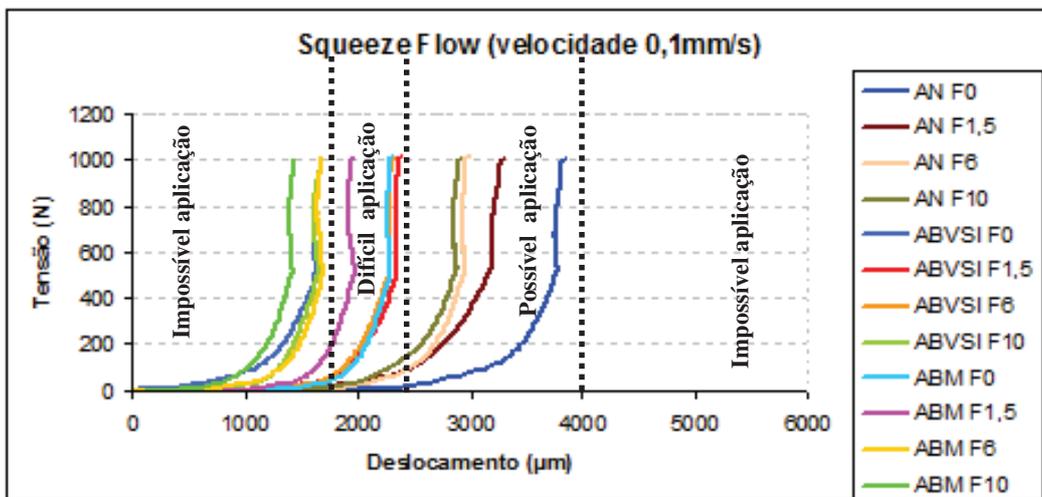


Figura 38 – Curvas de tensão x deslocamento ( $v=0,1\text{mm/s}$ ).

A AN apresentou o maior deslocamento, ou seja, é a argamassa com menor viscosidade, seguida pela argamassa ABVSI. A argamassa com maior viscosidade é a ABM. Este comportamento é coerente com o observado no ensaio de consistência das argamassas.

Observa-se também que quanto maior a quantidade de fíler adicionada à mistura menor é o deslocamento da argamassa no ensaio do squeeze flow. Ao comparar este ensaio com índice de consistência percebe-se a maior sensibilidade do mesmo, pois, a variação de  $\pm 5\text{mm}$  na mesa de consistência resultou em uma diferença expressiva no ensaio do squeeze flow (foi observado um deslocamento na ordem de  $3843\mu\text{m}$  na areia

sem fíler, reduzido para 2914 $\mu$ m na areia com 10% de fíler). Nas areias de britagem (ABVSI e ABM) o comportamento foi semelhante, porem com menores variações no deslocamento.

Pandolfo e Masuero (2005), em seus estudos indicam que a adição de um maior teor de fíler aumenta a trabalhabilidade das argamassas, o que foi percebido no ensaio de índice de consistência, pela mesa de teste, onde quanto maior a adição de fíler, nas argamassas AN, menor a quantidade de água necessária para encontrar o índice de consistência pré-fixado. Porém no ensaio do squeeze flow, o aumento da viscosidade e a conseqüente queda de trabalhabilidade ao adicionar fíler na argamassa e a redução do teor de água foram mais expressivos. Supondo que a perda de trabalhabilidade ocorre em função do aumento da área superficial do agregado, que não foi compensada com acréscimo de água. Pode-se afirmar que o ensaio de índice de consistência pela mesa de teste é falho para determinar a quantidade de água necessária para comparação de trabalhabilidade, sendo o ensaio de squeeze flow mais sensível e fornecendo melhores resultados. No presente trabalho optou-se em fixar a quantidade de água pelo índice de consistência, pois a norma ABNT NBR 13276:2005 prevê a fixação de água por este método.

As argamassas AN analisadas no trabalho apresentaram o maior comportamento dentro do estágio II, onde ocorre a deformação radial alongacional e de cisalhamento, com indícios do estágio III corresponde a grandes deslocamentos. Já as argamassas ABVSI e ABM apresentaram menor predominância no estágio II passando para a predominância do estágio I de enrijecimento por deformação, sendo que a carga aumenta muito para pequenos deslocamentos. O crescimento exponencial da carga caracteriza o enrijecimento por deformação, causado por altos níveis de atrito entre os agregados.

Trabalhou-se com duas velocidades de ensaio distintas, percebeu-se que quanto maiores às velocidades de aplicação de carga, maiores são os deslocamentos encontrados para este ensaio, porem a tendência de comportamento para as duas velocidades de aplicação de carga é a mesma.

Freitas (2010) ressalta a importância dos resultados obtidos no ensaio squeeze flow, onde é possível observar o comportamento das argamassas quando submetidas à

aplicação do carregamento e realizar a analogia com a aplicação na prática, isto é, como irá se comportar a argamassa quando efetivamente empregada na execução do revestimento. Segundo o autor, argamassas com baixas cargas determinadas por squeeze flow são possivelmente de fácil espalhamento, entretanto podem ser excessivamente fluidas, apresentando baixa viscosidade, tal que não seja possível a aplicação de camadas espessas ou que a aplicação não possa ser imediata, logo após a sua mistura. As argamassas utilizadas não se apresentaram excessivamente fluidas. Já as argamassas com cargas intermediárias, (no caso específico, as argamassas produzidas com AN), independente do teor de ar, tendem a possibilitar uma maior produtividade, especialmente àquelas que não apresentam indícios do terceiro estágio. Por outro lado, os produtos que necessitam de cargas muito maiores para serem deformados, possivelmente são de difícil aplicação resultando em baixa produtividade, o que foi constatado nas argamassas confeccionadas com ABVSI e ABM.

Ao comparar a execução do revestimento realizado por um profissional com a velocidade de aplicação de carga de 0,1mm/s no ensaio do squeeze flow, pode-se afirmar que as argamassas que apresentaram deslocamentos máximos entre 3843µm a 2914µm, (argamassas confeccionadas com AN) apresentaram uma boa aderência já no momento do lançamento e um acabamento superficial de boa qualidade, se enquadraram na zona de possível aplicação conforme analisado na Figura 38. As argamassas ABVSI que encontram-se, em maior predominância, na zona de difícil aplicação, são as que apresentaram deslocamento variando de 2319µm a 1957µm, conforme Figura 38. Já as argamassas ABM que encontram-se com deslocamento entre 1682µm a 1436µm, não foram possível de aplicar nos substratos analisados.

#### **4.2.2.2 Penetração de Cone**

Para determinação da trabalhabilidade das argamassas também foi utilizado o método de penetração de cone. Os resultados obtidos para as argamassas AN, ABVSI e ABM, estão expressos na Figura 39 e no Apêndice D.

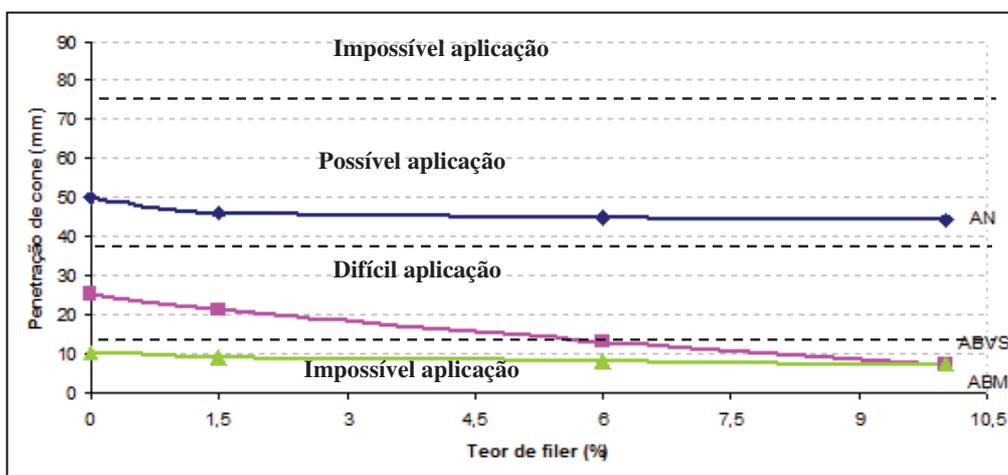


Figura 39 – Penetração de cone

Ao fixar o teor de água pelo índice de consistência há uma variação de  $\pm 5$  mm de tolerância para este ensaio, porém esta pequena tolerância resultou em diferenças mais expressivas em função da sensibilidade do ensaio de penetração de cone. Para os ensaios realizados com AN observa-se que a diminuição de água ao acrescentar fíler e a fixação do índice de consistência, resultaram na perda de trabalhabilidade no ensaio de squeeze flow e penetração de cone, constatação não visualizada no ensaio de índice de consistência (pois as argamassas se encontravam dentro do limite estipulado, melhorando a trabalhabilidade no momento em que se acrescentava fíler). Ou seja, a tolerância no ensaio de índice de consistência não se encontra adequada para os ensaios de squeeze flow e penetração de cone.

Observa-se que para todos os traços com ABVSI e ABM, há um decréscimo na profundidade de penetração de cone (diminuição da trabalhabilidade) quando acrescentado fíler à mistura.

A AN apresentou o maior deslocamento do cone, ou seja, é a argamassa com menor viscosidade, seguida pela argamassa ABVSI. A argamassa com maior viscosidade é a ABM.

Para a AN a penetração de cone é maior do que para a ABVSI variando de 50 a 84% e maior do que para a ABM variando de 80 a 84%. Este fato se deve provavelmente a forma dos grãos, pois na AN os grãos são mais arredondados, o que altera a tensão de escoamento da argamassa, permitindo uma maior penetração do cone.

Percebe-se claramente que a substituição do agregado na argamassa influencia na trabalhabilidade das mesmas, havendo decréscimo significativo no índice de consistência e na penetração de cone quando a AN é substituída pela ABVSI e ABM (o que também pode ser constatado no ensaio de squeeze flow).

Ao comparar a execução do revestimento realizado por um profissional com o ensaio de penetração de cone, pode-se afirmar que as argamassas (que apresentaram penetração de cone entre 44mm a 50mm, argamassas confeccionadas com AN) apresentaram uma boa aderência já no momento do lançamento e um acabamento superficial de boa qualidade, se enquadraram na zona de possível aplicação conforme analisado na Figura 39. As argamassas ABVSI que encontram-se, em maior predominância, na zona de difícil aplicação, são as que apresentaram penetração de cone variando de 25mm a 13mm, conforme Figura 39. Já as argamassas ABM que encontram-se com penetração de cone entre 10mm a 7mm, não possibilitaram aplicação nos substratos analisados.

#### 4.2.3 Retenção de Água

A Figura 40 e o Apêndice D apresentam os resultados obtidos para o ensaio de retenção de água para as argamassas produzidas com AN.

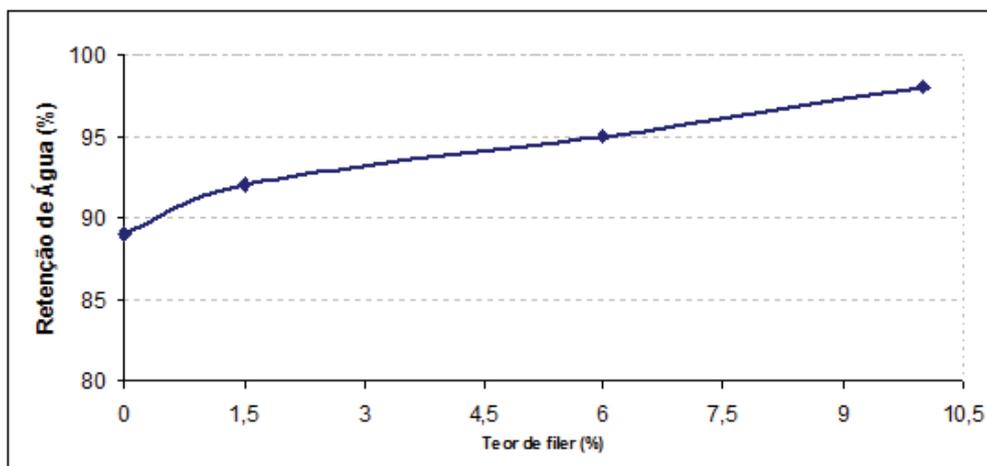


Figura 40 – Retenção de água

Na areia AN a capacidade de retenção de água das argamassas produzidas com teores maiores de fíler tende a ser superior, constatação também encontrada por Tristão (2005), para areias de rio.

Não foi possível medir a retenção de água das argamassas produzidas com ABVSI e ABM, pois a quantidade de água dessas argamassas foi insuficiente para realização do ensaio. Considera-se que a técnica utilizada para determinação da retenção de água não é recomendada para argamassas excessivamente secas, que aparentemente possuem um elevado volume de vazios não preenchidos por água.

#### 4.2.4 Densidade de massa

A Figura 41 e o Apêndice D apresentam os resultados de densidade de massa no estado fresco das argamassas confeccionadas.

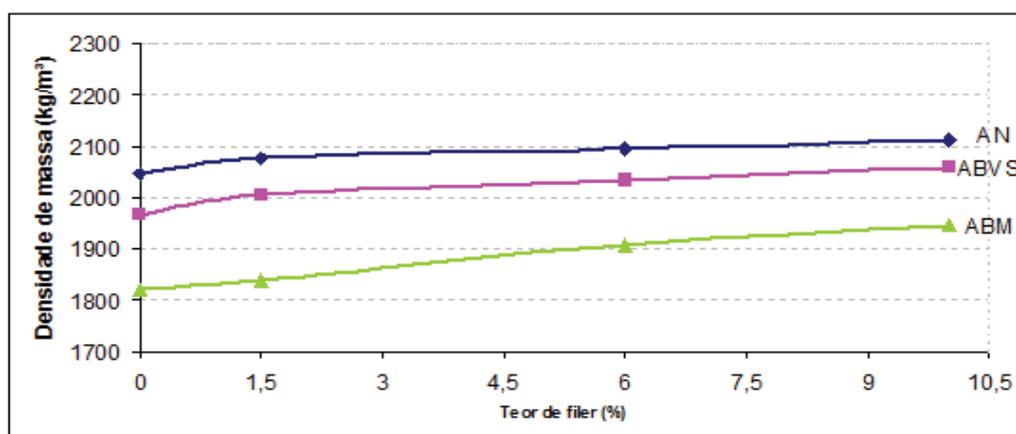


Figura 41 – Densidade de massa

Para todas as argamassas em estudo a densidade de massa no estado fresco aumenta com a adição de fíler, provavelmente devido à melhoria no empacotamento dos grãos.

As argamassas com AN apresentaram maior densidade de massa. As argamassas com areia de britagem possuem densidade de massa inferior, sendo que a menor densidade de massa sempre ocorre na argamassa com ABM. A diminuição da densidade de massa das argamassas ABVSI e ABM, possivelmente se deve ao excesso de vazios encontrados nestas argamassas, que visivelmente necessitam maior quantidade de água para uma melhor trabalhabilidade.

As argamassas AN apresentaram maior densidade de massa quando comparadas com as argamassas ABVSI variando de 3 a 4% dependendo do teor de fíler e, quando comparadas com as argamassas ABM, estas, também apresentaram menores densidades de massa variando de 8 a 11% dependendo do teor de fíler adicionado a mistura.

#### 4.2.5 Conclusões sobre as argamassas no estado fresco

A diferença de forma dos grãos exerce forte influência nas propriedades das argamassas no estado fresco. A alteração no teor de fíler adicionados às argamassas também exerce influência nestas propriedades, porém com menor intensidade que a forma dos grãos. Os ensaios realizados estão coerentes entre si.

As areias que apresentaram a menor esfericidade e o menor arredondamento, ABVSI e ABM, produziram argamassas que demandariam maior quantidade de água para atingir a consistência padronizada, quando comparadas as argamassas confeccionadas com AN. Entretanto, considerando-se que no programa experimental o teor de água é fixo, estas argamassas tiveram sua trabalhabilidade reduzida, o que foi constatado nos ensaios de trabalhabilidade realizados (ANF0 – penetração de cone de 50mm; ABVSIF0 – penetração de cone de 25mm; ABM penetração de cone de 10mm). O efeito da forma destes agregados foi muito pronunciado, e é coerente com as afirmações realizadas por Tristão (2005).

A adição de uma maior quantidade de fíler nas argamassas confeccionadas com ABVSI e ABM alterou a trabalhabilidade das mesmas, sendo que maiores quantidades de fíler resultaram em maior trabalhabilidade e menor índice de consistência (ANF0-índice de consistência de 264mm; ABVSIF0-índice de consistência de 195mm; ABMF0-índice de consistência de 159mm). Ou seja, deve haver uma interação entre forma e fíler.

Na situação de substituição da areia AN por areia de britagem, a diferença de deslocamento, no ensaio de squeeze flow, para uma velocidade de aplicação de carga de 0,1mm/s varia de aproximadamente 3800 $\mu$ m para argamassa AN até 2307 $\mu$ m para argamassa ABM, ou seja, há uma variação de quase 170%. O mesmo comportamento ocorre na velocidade de 3mm/s.

Na areia AN, observa-se que o aumento no teor de fíler resulta em um aumento na retenção de água, e que diferentes teores de fíler resultam em diferentes retenções de água. A demanda de água das argamassas com areia de britagem foi, aparentemente, muito superior à do traço original (com areia AN), o que resultou em argamassas secas, impossibilitando a sucção de água da argamassa com o nível de vácuo gerado pelo

equipamento. Dessa forma decidiu-se não utilizar os resultados deste ensaio, que estava na ordem de 99% de retenção de água para todas as argamassas com areia de britagem.

A deficiência de adensamento das argamassas com areia de britagem se refletiu na densidade de massa das argamassas. Quanto menos arredondada e menos esférica a forma dos agregados menor a densidade de massa das argamassas. O teor de fíler adicionado à mistura aumentou a densidade de massa e a viscosidade das argamassas.

### 4.3 ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO PRODUZIDAS NA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA (AN)

#### 4.3.1 Densidade de massa

A Figura 42 e o Apêndice E representam os resultados médios dos corpos de prova para o ensaio de densidade de massa das argamassas AN, ABVSI e ABM.

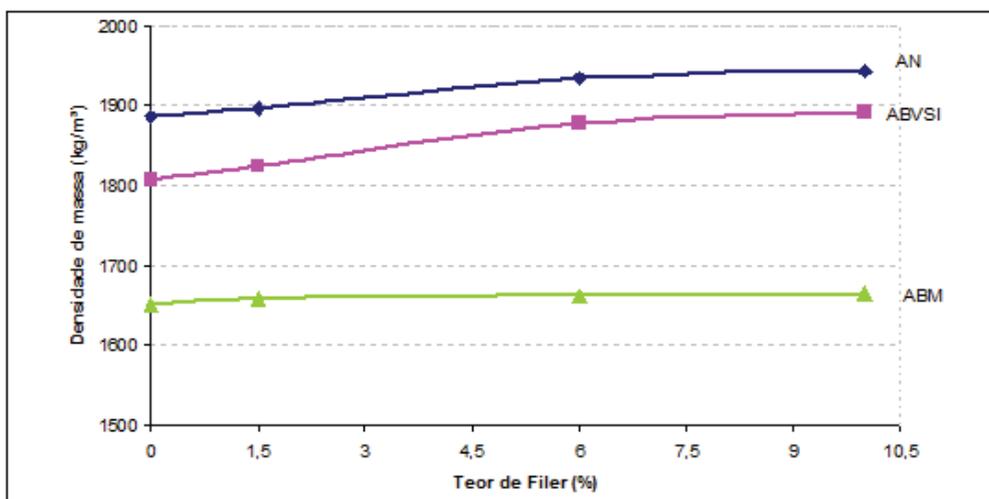


Figura 42 – Densidade de massa.

A densidade de massa foi sensivelmente alterada em função da substituição do agregado. As argamassas AN apresentaram a maior densidade de massa, que superou a densidade de massa da argamassa ABVSI entre 2,6 e 4,2% , e em torno de 12,5 a 14,3% quando comparadas com ABM. As argamassas apresentaram a mesma tendência de comportamento na densidade de massa no estado fresco, porém com diferenças mais expressivas.

A diferença de densidade em função da substituição do tipo de areia pode ser explicado pelo fato de que a curva de distribuição granulométrica da AN (que lhe

confere o melhor empacotamento), não é a curva ideal para ABVSI e ABM, produzindo argamassas mais porosas e com maior quantidade de vazios quando comparadas as AN (ressalta-se que, em função das especificações do programa experimental, não houve correção da quantidade de água da argamassa).

O acréscimo de filer também ocasionou aumento de densidade massa no estado endurecido das argamassas AN, ABVSI e ABM, embora seja um fator menos influente que a forma de grãos dos agregados. A fração fina, além de gerar maior teor de pasta nas argamassas, ocupa os vazios entre a fração graúda de agregado miúdo, aumentando assim o empacotamento dos grãos.

#### 4.3.2 Resistência à Compressão e à Tração na Flexão

As Figuras 43 e 44 e o Apêndice E apresentam os resultados dos ensaios de resistência à compressão e resistência à tração na flexão das argamassas.

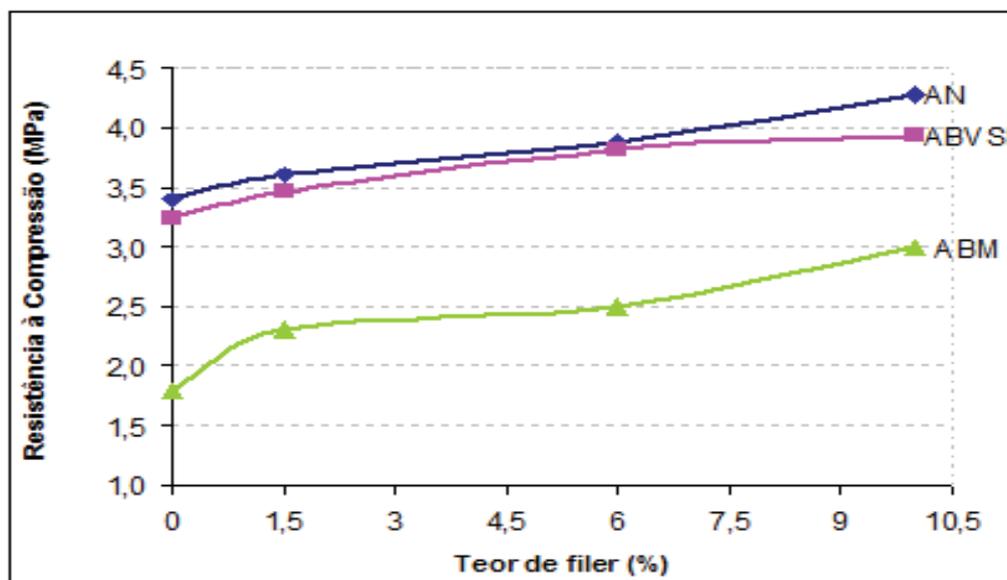


Figura 43 – Resistência à compressão das argamassas.

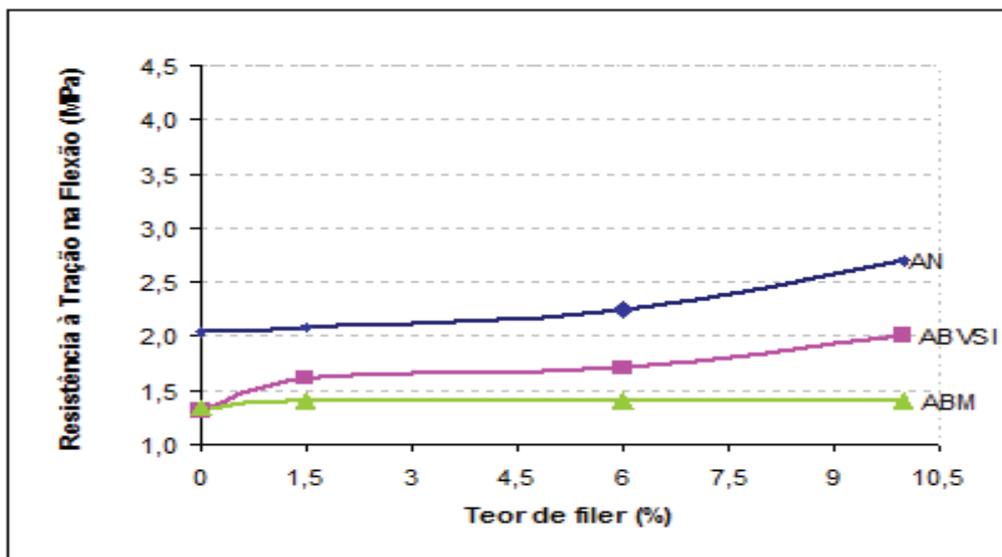


Figura 44 – Resistência à tração na flexão das argamassas.

Para todas as argamassas em estudo, quanto maior a quantidade de fíler utilizado maior a resistência mecânica. Este fenômeno possivelmente é decorrente do melhor empacotamento dos grãos e da menor demanda de água, o que é coerente com os valores obtidos na densidade de massa das argamassas.

A forma dos grãos também influencia na resistência mecânica e no empacotamento das argamassas, sendo que a resistência mecânica é maior nos traços com agregados de forma mais esférica. Os resultados de resistência à compressão contrariam os estudos de D'Agostino et al. (2004), Pandolfo e Mansuero (2005) e Silva (2006), onde a areia de britagem sempre apresentou maior resistência à compressão quando comparada as areias naturais. Essa aparente divergência de resultados ocorre devido a não haver compensação no teor de água por ocasião da substituição do agregado: as argamassas confeccionadas com areia de britagem necessitavam uma maior quantidade de água para atingir uma trabalhabilidade adequada para a moldagem dos corpos de prova, e esta ausência resultou em deficiências no adensamento e conseqüentemente diminuiu a resistência mecânica das argamassas. Com isso, pode-se comprovar a influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas.

A resistência à compressão da argamassa AN é ligeiramente maior do que à da ABVSI (entre 2 e 8%). A diferença com relação à argamassa ABM, entretanto, é muito expressiva, chegando a cerca de 100%. Nesta propriedade, a diferença de forma entre os

grãos da ABM exerceu grande influência, quando comparada as argamassas confeccionadas com AN e ABVSI.

A resistência à tração na flexão apresenta um comportamento distinto ao da resistência à compressão. As argamassas confeccionadas com AN apresentaram tendência de comportamento similar às argamassas ABVSI no ensaio de resistência à tração na flexão. As argamassas ABM apresentaram um comportamento diferenciado das demais argamassas em estudo, devido a quantidade de vazios presentes nas mesmas, que distancia um grão do outro impedindo a aderência dos mesmos.

Pode-se verificar que as resistências à flexão das argamassas AN são superiores as argamassas ABVSI variando de 23 a 36%. Já para as argamassas ABM as argamassas AN são superiores variando em torno de 32 a 48%.

#### 4.3.3 Módulo de Elasticidade Dinâmico

Apresentam-se na Figura 45 e no Apêndice E os resultados obtidos nos ensaios realizados para o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas estudadas.

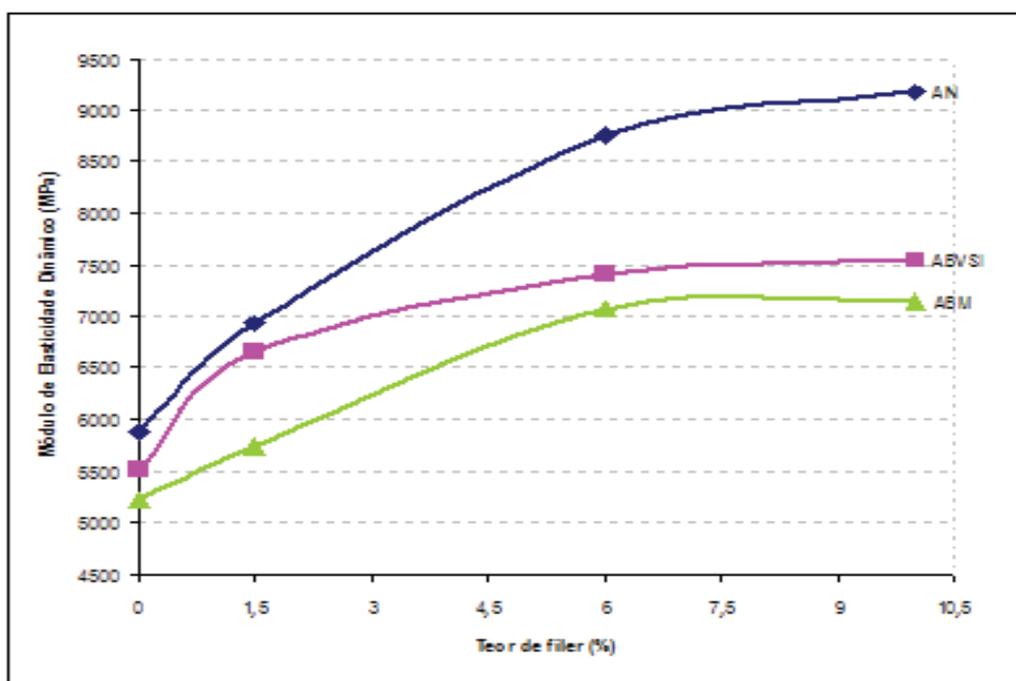


Figura 45 – Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas.

O aumento da quantidade de fíler nas argamassas confeccionadas aumenta o módulo de elasticidade dinâmico em todas as argamassas analisadas, pelo melhor empacotamento dos grãos.

Há uma diferença sensível entre o comportamento da argamassa com AN em relação ao das areias de britagem, que resultaram em argamassas com maior porosidade comparativamente à argamassa com AN. Esta diferença se acentua nas argamassas com maior teor de fíler, pois as argamassas com areia de britagem resultam em maior teor de ar e conseqüentemente menor densidade de massas e menor módulo de elasticidade.

As argamassas produzidas com AN apresentam um módulo de elasticidade maior do que as argamassas produzidas com ABVSI que varia de 4 a 18% e maior que as argamassas produzidas com ABM variando em torno de 11 a 22%.

#### 4.3.4 Absorção de água, índice de vazios e massa específica

A Tabela 19 apresenta os resultados de absorção de água, índice de vazios e massa específica das argamassas.

Tabela 19 - Absorção de água, índice de vazios e massa específica das argamassas.

Argamassas	Absorção (%)	Índices de vazios (%)	Massa Específica Real (kg/dm <sup>3</sup> )
AN F0	14,07	26,15	2,52
AN F1,5	13,97	25,99	2,51
AN F6	13,88	25,90	2,52
AN F10	13,46	25,39	2,53
ABVSI F0	16,88	30,99	2,66
ABVSI F1,5	16,17	29,55	2,59
ABVSI F6	14,82	28,17	2,65
ABVSI F10	14,19	26,82	2,58
ABM F0	19,53	33,92	2,63
ABM F1,5	19,31	33,45	2,60
ABM F6	18,71	32,90	2,62

Argamassas	Absorção (%)	Índices de vazios (%)	Massa Específica Real (kg/dm <sup>3</sup> )
ABM F10	16,77	30,07	2,59

Conforme os resultados apresentados na Tabela 19, a forma dos agregados miúdos ABVSI e ABM influenciaram nos valores do índice de vazios das argamassas devido à presença de grãos mais angulosos e menos esféricos do que as partículas dos agregados AN, dificultando o empacotamento entre os grãos do agregado miúdo. Para melhor compreensão dos dados apresentados na Tabela 19, foram elaboradas as Figuras 46, 47 e 48.

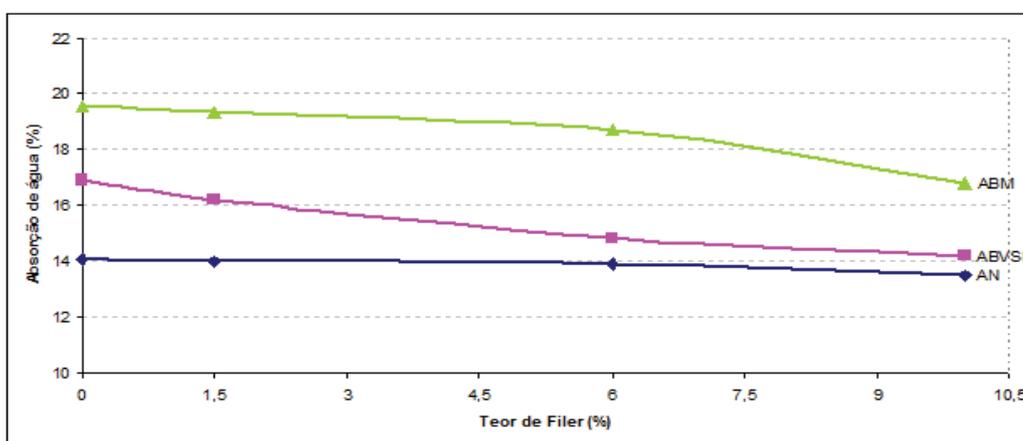


Figura 46 – Absorção de água por imersão.

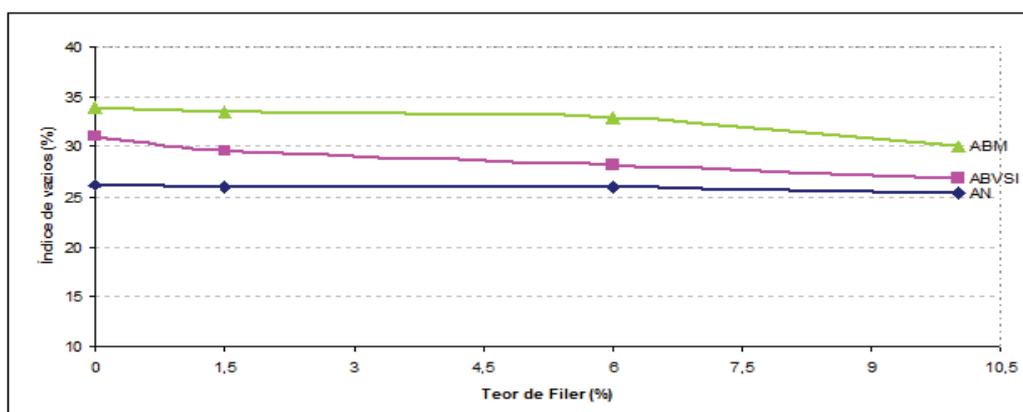


Figura 47 – Índice de vazios.

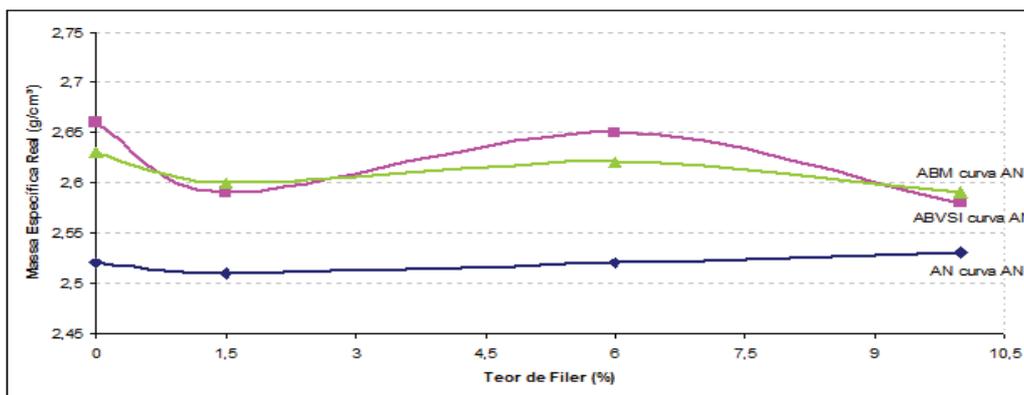


Figura 48 – Massa específica da amostra.

Nas Figuras 46, 47 e 48 e na Tabela 19 verificou-se que os teores de fíler adicionado as argamassas influenciaram o comportamento das mesmas no estado endurecido, pois quanto menor o teor de fíler das argamassas AN, ABVSI e ABM, maior absorção de água e maior índice de vazios. As argamassas AN apresentaram a menor absorção de água quando comparadas com as argamassas ABVSI em torno de 6 a 17% e ABM variando em torno de 20 a 28%, também apresentaram o menor índice de vazios quando comparada as argamassas ABVSI em torno de 5 a 16% e ABM variando em torno de 16 a 23%. Os menores valores de massa específica foram encontrados nas argamassas confeccionadas com AN, e as massas específicas das argamassas confeccionadas com ABVSI e ABM apresentaram valores bastante semelhantes.

#### 4.3.5 Absorção de água por Capilaridade e Coeficiente de Capilaridade

Os revestimentos de argamassa têm como função primordial numa edificação, entre outras, a impermeabilidade à água, principalmente se for externo. Este fenômeno pode ser compreendido através da movimentação da água pelos capilares do revestimento de argamassa utilizando o coeficiente de capilaridade (SILVA, 2006).

Foi determinada a absorção de água por capilaridade das argamassas e o seu coeficiente de absorção. Os resultados da absorção de água por capilaridade para as argamassas confeccionadas encontram-se na Tabela 20 e no Apêndice F. Os resultados dos coeficientes de capilaridade estão expressos no Apêndice F.

Tabela 20 – Absorção de água por capilaridade.

Argamassas	Absorção de água por capilaridade em 10 min. (g/cm <sup>2</sup> )	Absorção de água por capilaridade em 90 min. (g/cm <sup>2</sup> )
AN	0,510	1,34
ANF1,5	0,479	1,202
ANF6	0,437	1,207
ANF10	0,331	0,979
ABVSI	0,515	1,356
ABVSIF1,5	0,831	1,218
ABVSIF6	0,358	0,875
ABVSIF10	0,980	1,459
ABM	0,850	1,431
ABMF1,5	0,888	1,432
ABMF6	1,111	1,686
ABMF10	0,900	1,940

O aumento do teor de fíler diminui a absorção de água capilar para todas as argamassas analisadas e o seu coeficiente de capilaridade. O tipo de areia utilizado teve uma significativa influência na absorção de água por capilaridade, sendo que as argamassas com maior absorção de água por capilaridade são as argamassas ABM, e as argamassas AN possuem a menor absorção de água por capilaridade. Nesta propriedade, o comportamento é similar ao observado no módulo de elasticidade dinâmico e na resistência a tração na flexão. As maiores resistências mecânicas resultam em corpos de prova com menores absorções de água por capilaridade.

As argamassas ABVSI e ABM resultaram em baixo coeficiente de capilaridade, conforme Apêndice F. O baixo coeficiente de capilaridade das argamassas ABVSI e ABM se deve, provavelmente, a grande quantidade de vazios existente nas mesmas em função da falta de água de amassamento e forma irregular dos grãos, que trouxe sérios problemas relacionados à trabalhabilidade, conforme pode ser visualizado na Figura 49.

A norma prevê para o cálculo de coeficiente de capilaridade a diferença de absorção de água entre os dez minutos e os noventa minutos, não levando em consideração a absorção inicial do corpo de prova (do instante zero aos dez minutos), porém para as argamassas confeccionadas com ABVSI e ABM o instante inicial é o pico máximo de absorção do corpo de prova e a diferença entre os dez minutos e os noventa é praticamente irrelevante. Porém na areia AN esta situação se inverte. Optou-se por não utilizar os valores de coeficientes de capilaridade, pois os valores encontrados podem não ser reais, pela dificuldade de medir a quantidade de água absorvida pelo corpo de prova.

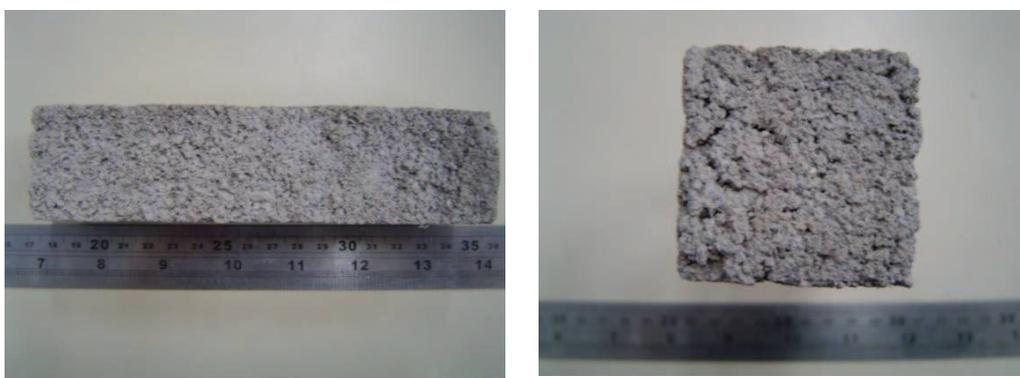


Figura 49 – Corpos de prova moldados com argamassas ABVSI e ABM.

#### 4.3.6 Retração Linear

Os resultados da retração linear das argamassas até 28 dias após sua produção estão apresentados na Figura 50 e no Apêndice E. A retração linear não pode ser considerada como a retração dos revestimentos de argamassas. Estes resultados são usados para avaliar o comportamento das argamassas isoladamente, pois é uma retração livre, servindo como um parâmetro relativo entre argamassas.

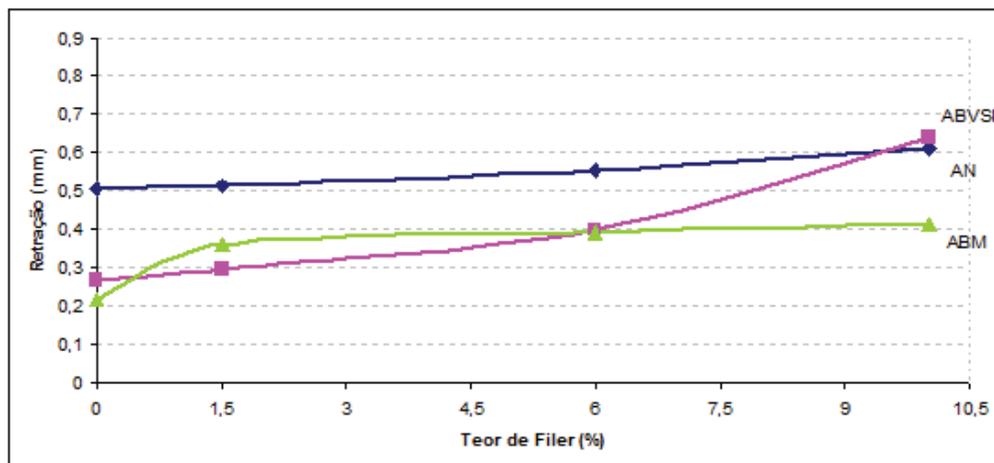


Figura 50 – Retração linear.

Em função da fixação da relação água/materiais secos e do teor de pasta das argamassas, pode-se inferir que a forma dos grãos, ao gerar argamassas com elevado teor de vazios, influencia na retração das argamassas estudadas. As argamassas ABVSI e ABM, apresentaram grande número de vazios, ocasionado defeitos nos corpos de prova ensaiados.

Ao analisar a Figura 50 percebe-se claramente que ao se acrescentar um teor de fíler maior a retração das argamassas em estudo aumenta. A forma do agregado também influencia nesta propriedade. A AN apresentou um maior teor de retração em praticamente todas as argamassas analisadas com exceção da AN F10 em que a argamassa ABVSI F10 apresentou a maior retração, mas muito semelhante com a retração da AN F10. Ao comparar a ABVSI com a ABM percebe-se que a ABVSI apresentou maior retração nas argamassas contendo 6 e 10% de fíler nas demais apresentou retração inferior a ABM. Essa baixa retração da ABVSI e ABM se deve a quantidade insuficiente de água de amassamento, gerando argamassas pouco trabalháveis, com grande quantidade de vazios, porém com baixa retração, em função dos defeitos dos corpos de prova.

#### 4.3.7 Considerações sobre as argamassas no estado endurecido

A substituição do agregado resultou em diferenças nas argamassas no estado endurecido. Os grãos da areia AN por apresentar uma melhor forma, resultando em um melhor empacotamento, produziram argamassas com maior densidade de massa no estado fresco e endurecido.

Constatou-se que quanto maior a quantidade de fíler adicionados nas areias para produção das argamassas, menor a quantidade de água de amassamento para chegar ao mesmo índice de consistência e como consequência um aumento na densidade de massa, nas resistências mecânicas, no módulo de elasticidade dinâmico e na fissuração destas argamassas e uma diminuição na absorção de água por capilaridade, no coeficiente de capilaridade, na absorção de água total e no índice de vazios. O fíler, além de gerar maior teor de pasta na argamassa, ocupa os vazios entre a fração maior de agregado miúdo, aumentando assim o empacotamento dos grãos, constatação também realizada por Freitas (2010). Ressalta-se que em outros trabalhos, como o de Tristão (1995), o aumento do teor de fíler resultou num aumento do teor de água de amassamento e consequentemente numa maior absorção de água por capilaridade e na diminuição das resistências mecânicas.

Nas resistências à compressão e à tração na flexão, a forma do grão da AN, foi responsável pelas maiores resistências mecânicas das argamassas confeccionadas com esta areia. A maior resistência mecânica se deu pelo maior empacotamento dos grãos, gerando argamassas com menores quantidades de vazios e consequentemente com maior densidade de massa.

As argamassas com o maior módulo de elasticidade dinâmico foram as confeccionadas com AN que pela forma mais arredondada e esférica dos grãos, geraram argamassas com menores quantidades de vazios.

A forma dos grãos também teve influência significativa no índice de vazios das argamassas. As argamassas produzidas com areias de britagem apresentaram maiores índices de vazios resultando em maiores absorções de água.

No ensaio de retração linear, em função da baixa quantidade de água utilizada para as areias de britagem estas argamassas apresentaram as menores retrações, porém cabe ressaltar que a trabalhabilidade destas argamassas estavam prejudicadas pela baixa quantidade de água de amassamento e alta quantidade de vazios.

A argamassa AN apresentou a menor absorção de água por capilaridade quando comparadas com as argamassas ABVSI e ABM. Observa-se que as argamassas que apresentaram as maiores absorções de água por imersão são as confeccionadas com ABM, seguidas da ABVSI e posteriormente AN, o que vem confirmar todas as análises

do estado fresco de que a forma dos grãos das areias interfere nas propriedades das argamassas que, por sua vez, altera as propriedades das argamassas no estado endurecido.

#### **4.4 ENSAIOS NOS REVESTIMENTOS REALIZADOS COM AS ARGAMASSAS PRODUZIDAS NA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA (AN)**

Durante a execução do revestimento, foi feita uma análise, juntamente com o profissional que estava executando o serviço, sobre a facilidade de lançamento das argamassas nas mini paredes. Esta análise teve seu foco nas questões de aderência da argamassa ao substrato no momento do lançamento e a facilidade de trabalhar e executar os revestimentos com os vinte traços de argamassa.

As argamassas AN, com os diferentes teores de fíler não exerceram influência perceptível na facilidade de lançamento e aderência inicial, tendo apresentado uma boa aderência já no momento do lançamento. As argamassas ABVSI apresentaram dificuldade na aderência no lançamento piorando a situação a partir do momento em que a quantidade de fíler foi aumentada, sendo impossível a sua aplicação no teor de 10% de fíler. Todas as argamassas ABM apresentaram problemas de aderência ao substrato no momento do lançamento. As mesmas não aderiam ao substrato no lançamento e soltavam com facilidade da base. Logo, não foi possível realizar o revestimento das mini paredes com estas argamassas. No desempenho e no acabamento final, as argamassas AN apresentaram melhor comportamento que as argamassas ABVSI. As argamassas ABVSI, apresentaram um acabamento muito precário devido ao fato de terem grãos mais angulosos, com baixo grau de arredondamento e textura áspera.

##### **4.4.1 Resistência a aderência à tração**

Os resultados dos ensaios de resistência de aderência à tração dos revestimentos são apresentados nas Figuras 51, 52 e no Apêndice G. Para apresentação dos resultados, foram excluídos os valores que apresentaram maior disparidade, sendo feita a média entre os valores mais próximos, desde que com a mesma forma de ruptura. A forma de ruptura está apresentada no Apêndice G. Nas argamassas ABVSI F10 e todas as ABM,

não foram possíveis realizar a aplicação em função de sua trabalhabilidade ser totalmente inadequada para aplicação manual.

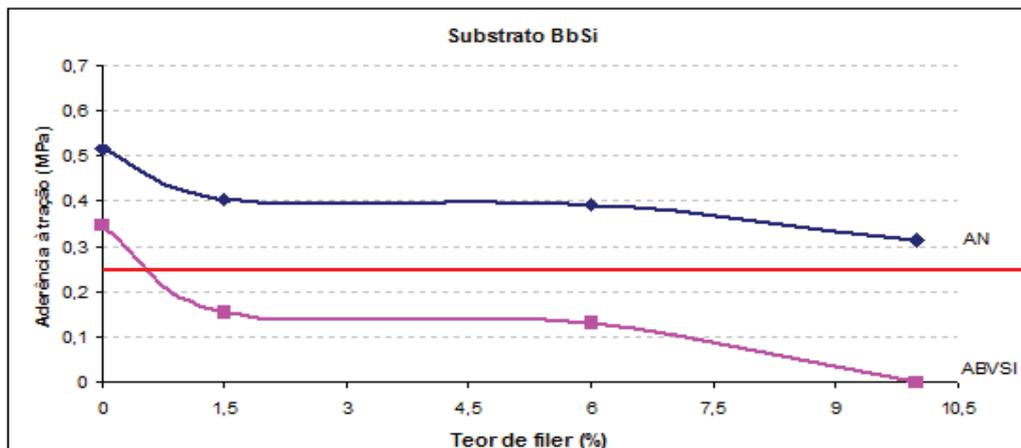


Figura 51 – Resistência de aderência à tração da argamassa aplicada sobre o substrato BbSi.

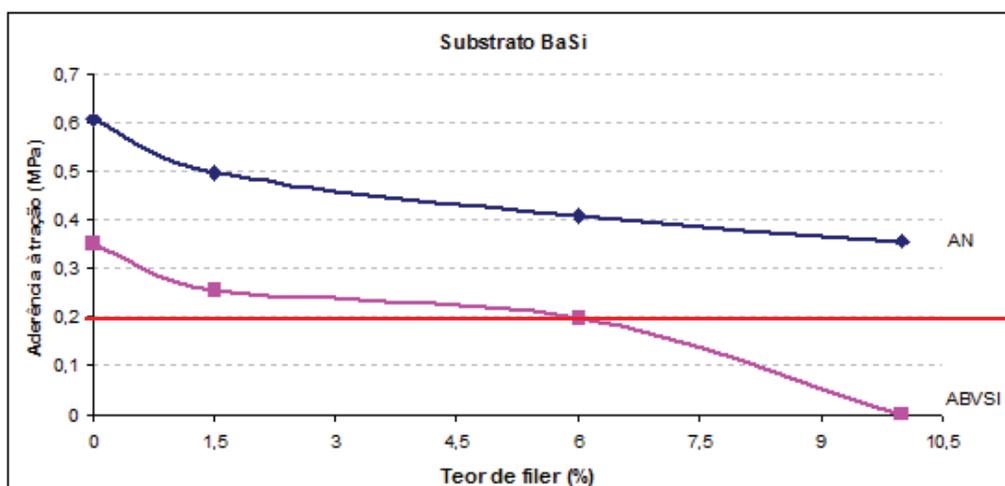


Figura 52 – Resistência de aderência à tração da argamassa aplicada sobre o substrato BaSi.

As maiores resistências de aderência foram encontradas nas argamassas com areia AN, fato também ocorrido nos estudos de Pandolfo e Masuero (2005), que utilizaram areia de britagem de origem basáltica. Nota-se que a argamassa com AN possui resistência potencial de aderência à tração especificada pela norma ABNT NBR 13281:2005, como  $A3 \geq 0,3 \text{ MPa}$ . Com a substituição da AN pela areia de britagem, o único traço que apresentou resistência de aderência classificado como A3 foi o de areia de britagem sem fíler (ABVSIF0).

Observa-se que quanto maior o teor de fíler das argamassas menor a resistência de aderência das mesmas. Estima-se que este comportamento seja decorrente do aumento do coeficiente de retenção de água, que é proporcional ao aumento do teor de fíler. Em conseqüência, há menor migração de água da argamassa para a base nos primeiros minutos de contato com a mesma, e conseqüentemente menos quantidade de cimento para propiciar resistência ao arrancamento. Conforme analisado por Carasek (1996) e confirmado no presente trabalho, a medida que se emprega uma areia mais fina na confecção de argamassas, diminui-se o raio médio de seus poros capilares e, conseqüentemente a retenção de água das argamassas, diminuindo o potencial de aderência a tração das mesmas.

As argamassas AN apresentam as maiores resistências de aderência à tração quando comparadas com as argamassas ABVSI variando de 33 a 67% para os revestimentos realizados nos blocos BbSi e variando de 42 a 51% para os revestimentos realizados nos blocos BaSi. Como pode-se observar, as características do substrato exercem influência significativa no desempenho de resistência de aderência dos revestimentos. Essa influência ocorreu em todas as argamassas, sendo que as maiores resistências de aderência foram obtidas nos revestimentos aplicados sobre o substrato com absorção de água menor, substrato BaSi. Nota-se que nos blocos BbSi a maioria das rupturas se deu no substrato e não na argamassa, pois o substrato apresentou resistência à tração muito pequena (0,26 MPa), possivelmente inferior ao valor da resistência a tração que poderia ser atingido pela argamassa caso a resistência da base fosse superior.

#### **4.4.2 Análise da fissuração**

As primeiras fissuras foram observadas aos sete dias (indicadas pela cor amarela). A análise foi realizada adotando-se a cor laranja para os quatorze dias, a cor verde aos vinte e um dias e a cor branca aos vinte e oito dias de idade, conforme visualizado na Figura 53.

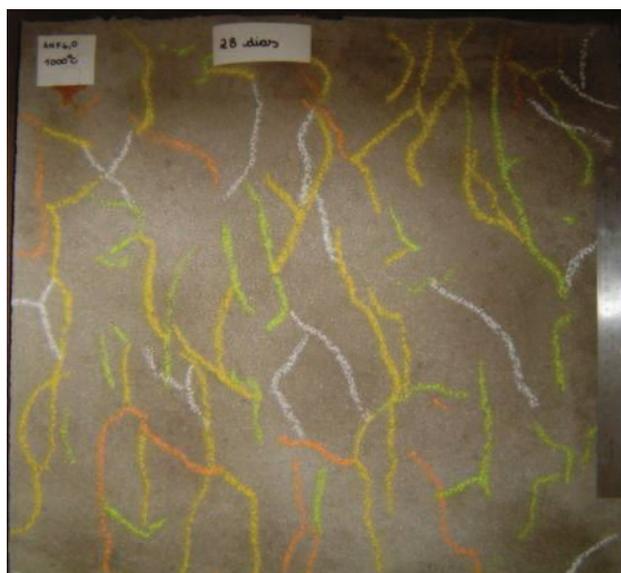


Figura 53 – Acompanhamento da fissuração: AN F6 substrato BaSi.

O comprimento linear total das fissuras encontradas, dividido pela área das mini paredes, resultou no índice de fissuração. Foram realizadas medidas de fissuração nas idades de vinte e quatro horas após a aplicação, aos sete, aos quatorze, vinte e um e vinte e oito dias de idade. As medidas encontradas para fissuração total de cada mini parede estão expressas no Apêndice E. Os níveis de fissuração estão apresentados na Tabela 21. Nas argamassas ABVSI F10 e todas as ABM, não se realizou a medida da fissuração, pois não foi possível realizar a aplicação das mesmas nos substratos.

Tabela 21 – Níveis de fissuração nas argamassas aplicadas sobre as diferentes bases.

Argamassas	Nível de fissuração (BbSi)	Nível de fissuração (BaSi)
AN F0	19,08 cm/m <sup>2</sup>	21,19 cm/m <sup>2</sup>
AN F1,5	23,67 cm/m <sup>2</sup>	27,89 cm/m <sup>2</sup>
AN F6	24,23 cm/m <sup>2</sup>	28,90 cm/m <sup>2</sup>
AN F10	28,53 cm/m <sup>2</sup>	33,03 cm/m <sup>2</sup>
ABVSI F0	23,61 cm/m <sup>2</sup>	27,05 cm/m <sup>2</sup>
ABVSI F1,5	27,12 cm/m <sup>2</sup>	30,24 cm/m <sup>2</sup>
ABVSI F6	31,47 cm/m <sup>2</sup>	49,83 cm/m <sup>2</sup>
ABVSI F10	Não executado	Não executado

Observa-se que a forma dos grãos, o teor de fíler e as características da base influenciam o nível de fissuração da argamassa. As características da base exercem influência na fissuração, que foi mais expressiva na base com maior absorção inicial de água (1000°C).

Percebe-se que quanto maior a quantidade de fíler utilizada na mistura, maior o grau de fissuração, o que é coerente com o ensaio de retração linear, onde as maiores retrações ocorreram nas argamassas com maior quantidade de fíler. As argamassas AN obtiveram o menor nível de fissuração quando comparadas as argamassas ABVSI, em função dos defeitos gerados no revestimento pela baixa trabalhabilidade das argamassas.

#### 4.4.3 Análise conjunta dos resultados de retração e fissuração.

Na Figura 54 pode ser visualizada a relação entre os resultados dos ensaios de retração linear da argamassa e fissuração dos revestimentos aplicados sobre os dois substratos. Os resultados são detalhados no apêndice E.

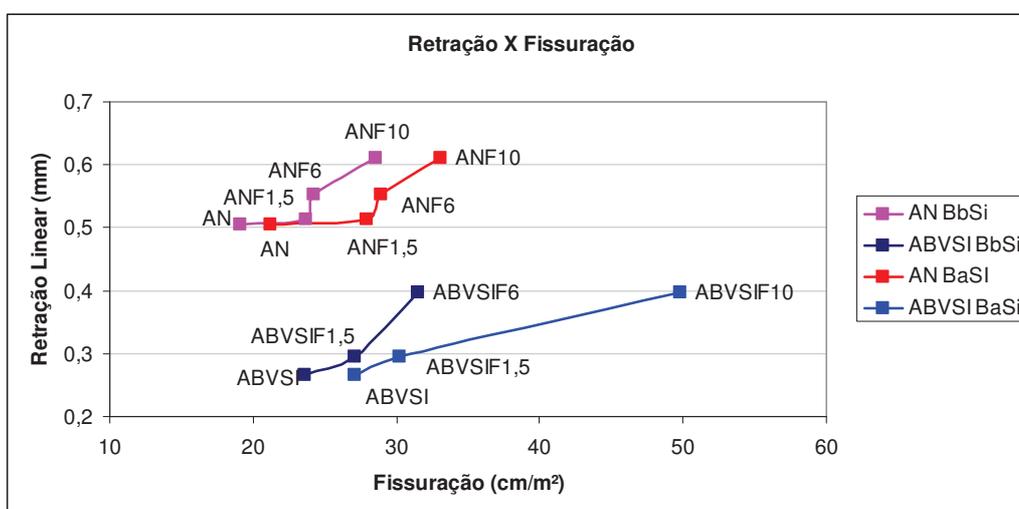


Figura 54 – Retração x Fissuração.

Percebe-se que existe relação entre fissuração e retração. Entretanto, a absorção da base influencia os resultados de fissuração do revestimento: quanto maior a absorção inicial da base, maior a fissuração das argamassas em estudo. A influência da absorção da base é muito expressiva, e chega a alterar a classificação obtida pelas argamassas no ensaio de retração linear: considerando-se exclusivamente este ensaio, verifica-se que a

areia ABVSI apresenta menor retração quando comparada a argamassa AN. Porém, ao se considerar o efeito do substrato nas propriedades das argamassas, percebe-se que a ABVSI tem maior fissuração, sendo que no substrato de alta absorção inicial o efeito da fissuração se acentua.

Em todas as argamassas, ao se acrescentar fíler há um aumento na retração linear e na fissuração, este fenômeno pode ser percebido nos dois diferentes substratos e nos dois diferentes agregados, tendo maior intensidade no substrato de alta absorção inicial.

#### **4.5 ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO CONFECCIONADAS NA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA DE BRITAGEM VSI (ABVSI)**

Todas as argamassas descritas a seguir foram confeccionadas com os agregados miúdos reproduzindo a curva de distribuição granulométrica da ABVSI. Para identificação das argamassas confeccionadas com estes agregados, adotou-se o sufixo “#VSI” para todas as argamassas assim confeccionadas.

##### **4.5.1 Índice de Consistência**

Determinou-se, a partir de misturas das diversas frações da areia AN, a curva granulométrica com o melhor empacotamento. A Figura 55 e o Apêndice H demonstram o comportamento da argamassa ABVSI#VSI utilizada como referência e a substituição da ABVSI#VSI pela AN#VSI, mantendo todos os demais parâmetros fixados como citados anteriormente. O Apêndice H apresenta os teores de água utilizados para cada argamassa.

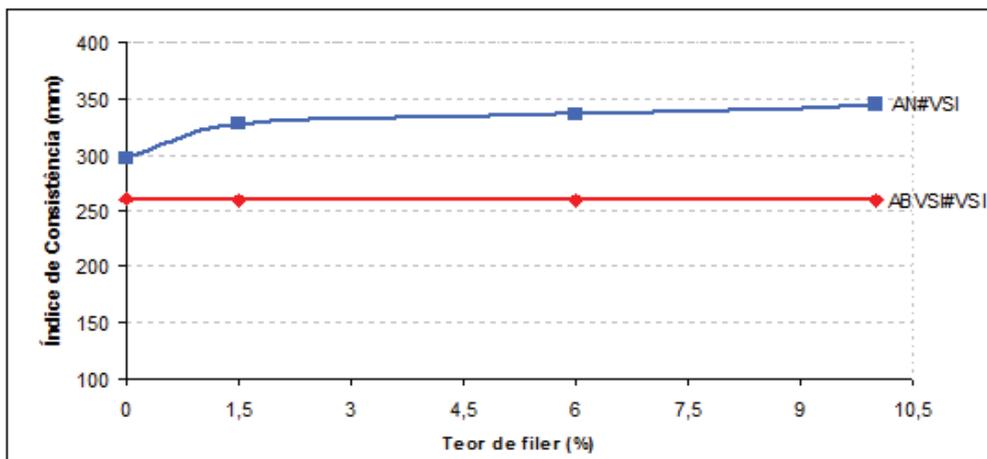


Figura 55 – Índice de consistência

Observa-se que para todos os traços, com ABVSI#VSI o índice de consistência permaneceu constante. Quando se substitui a ABVSI#VSI pela AN#VSI há um acréscimo no índice de consistência, variando de 13 a 25%, para todas as argamassas ensaiadas. No ensaio de consistência observa-se claramente que a quantidade de água necessária pela ABVSI#VSI para atingir a consistência fixada é maior que a quantidade de água utilizada para AN#VSI. Pode-se afirmar que a forma dos grãos influencia diretamente na quantidade de água de amassamento necessária para uma consistência pré-determinada. Quando utiliza-se a curva da ABVSI como referência as argamassas produzidas com AN ficaram extremamente fluídas. O excesso de água, decorrente da manutenção do traço especificado para a areia de britagem na confecção da argamassa com a areia AN, irá alterar substancialmente diversas propriedades das argamassas.

As argamassas ABVSI#VSI ao acrescentar os teores de 1,5 e 6% de fíler necessitaram de um acréscimo de água que variou de 2 a 4% sucessivamente, já com o acréscimo de 10% de fíler a quantidade de água, necessária para atingir o índice de consistência de  $260 \pm 5$  mm, diminuiu em torno de 3,5%. Percebe-se que o fíler começa a ajudar na trabalhabilidade das argamassas confeccionadas com ABVSI#VSI, somente em teores acima de 6%. Este fato acontece em função da forma irregular dos grãos, que somente com teores mais elevados de fíler, necessitam de menores quantidades de água para adquirirem uma melhor trabalhabilidade. As argamassas AN#VSI apresentaram uma tendência de comportamento diferenciada quando comparada as demais

argamassas em estudo, pois ao aumentar a quantidade de filer (que para a AN melhora a trabalhabilidade) aumentaram o índice de consistência, em função do excesso de água.

## 4.5.2 Trabalhabilidade das Argamassas

### 4.5.2.1 Squeeze flow

Para determinação da trabalhabilidade das argamassas utilizou-se o ensaio do squeeze flow. Os ensaios realizados para as argamassas ABVSI#VSI e AN#VSI, estão expressos nas Figuras 56 e 57 o ensaio foi realizado conforme os parâmetros utilizados para o ensaio anterior.

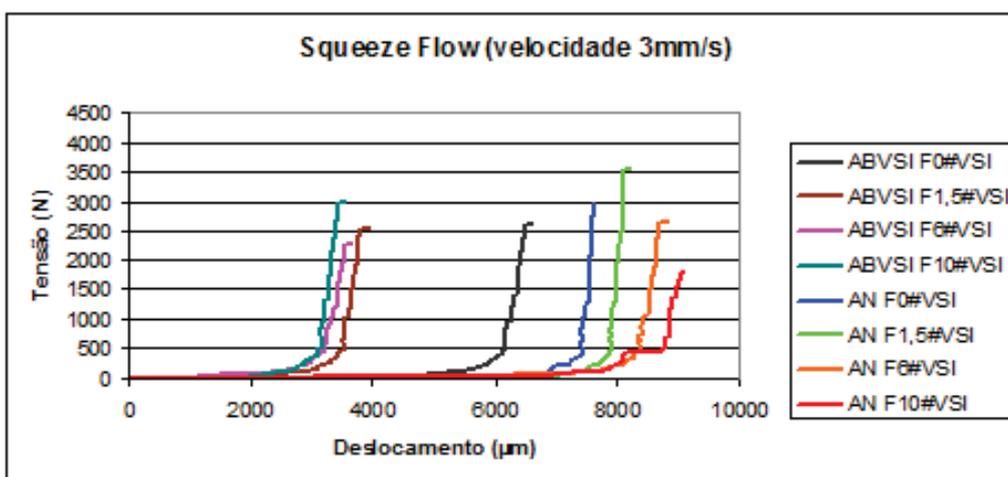


Figura 56 – Curvas de tensão x deslocamento ( $v = 3 \text{ mm/s}$ ).

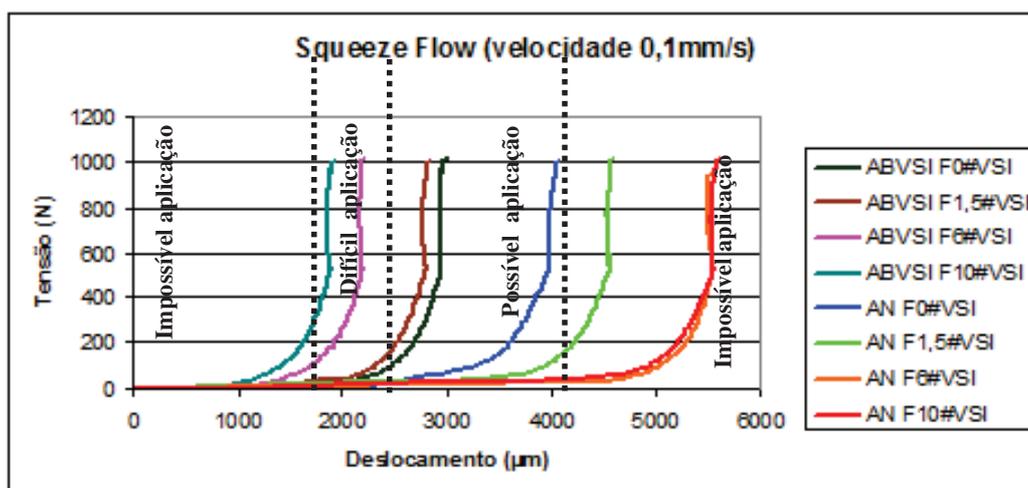


Figura 57 – Curvas de tensão x deslocamento ( $v = 0,1 \text{ mm/s}$ ).

As argamassas ABVSI#VSI apresentaram os menores deslocamentos no ensaio do squeeze flow e o menor índice de consistência. As argamassas ABVSI#VSI apresentaram maior predominância no estágio II com indícios do estágio III. Já as argamassas AN#VSI apresentaram predominância do estágio III, correspondente a grandes deslocamentos.

Constata-se, também, que as argamassas ABVSI#VSI possuem comportamento semelhantes às argamassas AN, ABVSI e ABM onde ao aumentar o teor de fíler diminuem o deslocamento. Já as argamassas AN#VSI apresentaram comportamento distintos, ou seja, ao aumentar o teor de fíler aumentou o deslocamento, pois apesar da maior quantidade de água também possuem maior teor de fíler, que contribui para a diminuição da viscosidade.

A maior sensibilidade do ensaio do squeeze flow quando comparado ao ensaio de índice de consistência também ficou evidente para estas argamassas, pois no índice de consistência das argamassas produzidas com ABVSI#VSI permaneceu constante, porém no ensaio do squeeze flow apresentaram uma diferença que variou de 2997 $\mu$ m para as areias de britagem sem fíler para 1913 $\mu$ m para as areias de britagem com 10% de fíler. Para as areias AN#VSI a diferença de deslocamento entre os diferentes teores de fíler também foi verificado com maior influência do que no ensaio de índice de consistência.

A diferença de deslocamento entre as duas velocidades determinadas no ensaio, também podem ser verificada no estudo destas argamassas, porém a tendência de comportamento entre uma velocidade e outra é, praticamente, a mesma.

As argamassas ABVSI#VSI apresentaram uma viscosidade adequada para a realização dos revestimentos (zona de possível aplicação e difícil aplicação), porém as argamassas AN#VSI são extremamente fluidas impossibilitando a sua aplicação, conforme parâmetros analisados na Figura 57. O comportamento apresentado no ensaio de squeeze flow confirma os resultados do ensaio de índice de consistência. Este fato deve-se a diferença na forma dos grãos das areias em estudo, onde a areia ABVSI#VSI por sua forma mais irregular e menos arredondada, necessita de maiores teores de água para obter uma trabalhabilidade semelhante a da areia AN. Logo, fixou-se a água para as argamassas ABVSI#VSI e utilizou-se esta quantidade de água, também, para as

argamassas AN#VSI, com isso, gerou-se argamassas com excesso de água. Ou seja, para determinada forma de grão existe um teor de água adequado.

#### 4.5.2.2 Penetração de Cone

Para determinação da trabalhabilidade das argamassas também foi utilizado o método de penetração de cone. A Figura 58 e o Apêndice H demonstram o comportamento das argamassas ABVSI#VSI e AN#VSI.

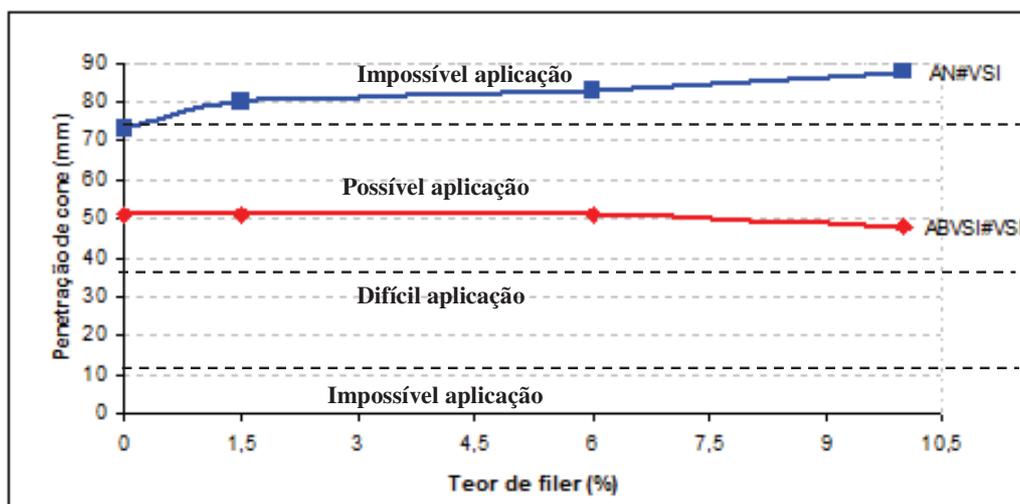


Figura 58 – Penetração de cone

A diferença apresentada no ensaio de squeeze flow em relação à diminuição do deslocamento das argamassas ABVSI#VSI ao acrescentar fíler, não foram tão evidentes no ensaio de penetração de cone assim como, com menor relevância no ensaio de índice de consistência onde para todos os teores de adição de fíler a consistência permanecia constante. Para as argamassas ABVSI#VSI o ensaio de squeeze flow demonstrou-se mais eficiente para ressaltar as diferenças existentes entre as argamassas.

Quanto maior o teor de fíler maior a penetração do cone das argamassas AN#VSI. Observa-se que para a maioria dos traços, com ABVSI#VSI utilizando ou não fíler a penetração de cone permanece constante, somente para a argamassa ABVSI F10#VSI a penetração de cone foi menor quando comparada as demais argamassas ABVSI#VSI. Já quando substituí-se a ABVSI#VSI pela AN#VSI houve um acréscimo na penetração de cone para todas as argamassas ensaiadas. As argamassas AN#VSI apresentaram uma tendência de comportamento diferenciada quando comparada as

demais argamassas em estudo, pois o teor de adição de fíler aumentou sua trabalhabilidade. Esta constatação é coerente com o ensaio de índice de consistência e squeeze flow.

Ao comparar a execução do revestimento realizado por um profissional com o ensaio de penetração de cone, pode-se afirmar que as argamassas (que apresentaram penetração de cone entre 48mm a 51mm, argamassas confeccionadas com ABVSI#VSI) apresentaram uma boa aderência, se enquadraram na zona de possível aplicação conforme analisado na Figura 58. As argamassas AN#VSI que encontram-se, na zona de impossível aplicação são as que apresentaram penetração de cone variando de 73mm a 88mm, conforme Figura 58.

#### 4.5.3 Retenção de Água

A Figura 59 e o Apêndice H apresentam os resultados obtidos para o ensaio de retenção de água para as argamassas.

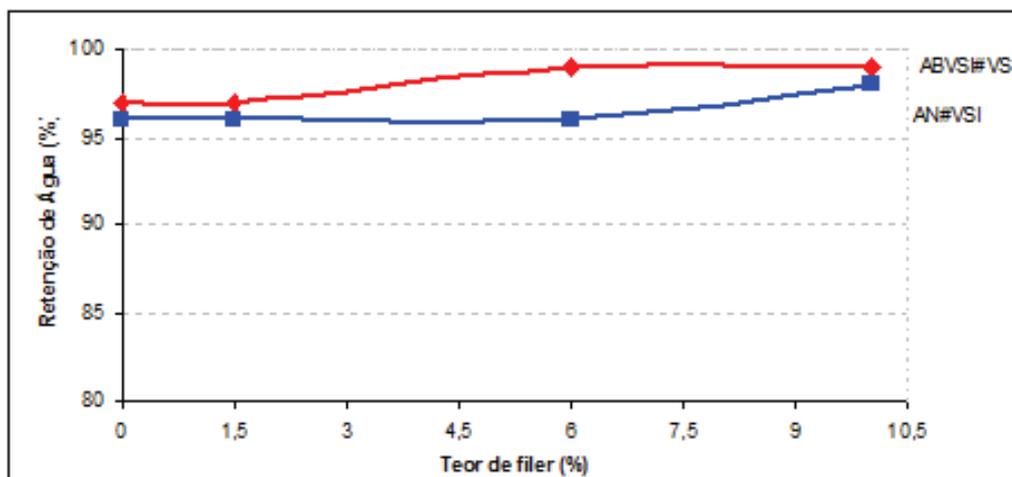


Figura 59 – Retenção de água

As argamassas produzidas com ABVSI#VSI apresentam maior retenção de água comparando-se com as argamassas produzidas com AN#VSI, pois a quantidade de água da argamassa AN#VSI era muito excedente e a mesma não possuiu capacidade de reter toda a água que estava sobrando.

Percebe-se que a capacidade de retenção de água das argamassas produzidas com teores maiores de fíler tende a ser superior para as argamassas confeccionadas com os diferentes agregados.

#### 4.5.4 Densidade de massa

A Figura 60 e o Apêndice H apresentam os resultados de densidade de massa no estado fresco das argamassas confeccionadas na curva VSI.

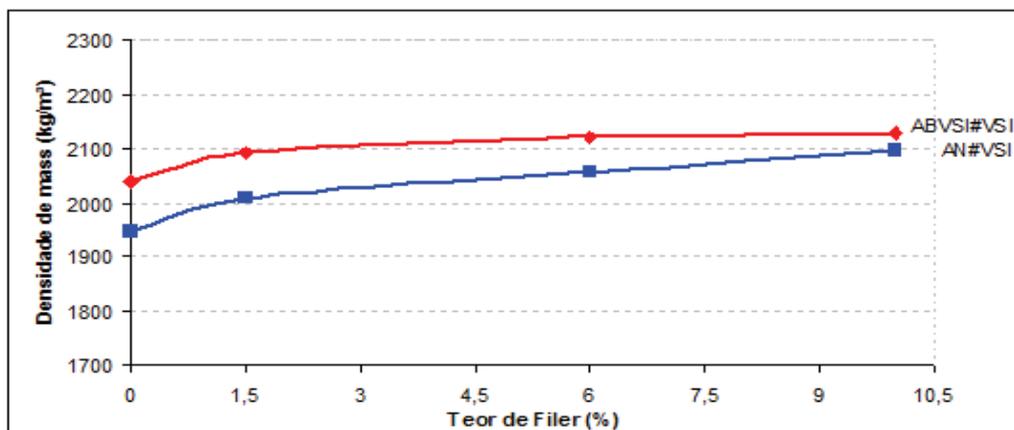


Figura 60 – Densidade de massa no estado fresco.

As densidades de massa no estado fresco das argamassas ABVSI#VSI são maiores que a densidade de massa das argamassas AN#VSI variando de 1 a 5% dependendo do teor de fíler. Para todas as argamassas ABVSI#VSI e AN#VSI a adição de fíler aumenta a densidade de massa.

#### 4.5.5 Conclusões sobre as argamassas no estado fresco

A diferença de forma dos grãos, também, foi visualizadas nos ensaios onde substituiu-se a areia ABVSI#VSI pela AN#VSI. Na situação em que foi utilizada a argamassa ABVSI#VSI como referência, foi necessário um maior teor de água para atingir a consistência especificada, principalmente em função da forma irregular deste agregado. Ao substituir o agregado por outro de melhor forma (AN#VSI), a argamassa se torna mais fluida, aumentando muito o índice de consistência.

A diferença de trabalhabilidade torna-se mais visível no ensaio de squeeze flow, onde as argamassas confeccionadas com AN#VSI apresentaram um grande deslocamento, confirmando as suas baixas viscosidades o que torna impossível a sua utilização.

Outro fator que gera diferença na trabalhabilidade das argamassas é o teor de fíler, pois quanto maior a quantidade de fíler utilizada nas argamassas ABVSI#VSI pior

a trabalhabilidade das mesmas. Já para as argamassas AN#VSI a situação inverte-se, quanto maior a quantidade de fíler mais fluida se torna a argamassas, em função que os fíler para as AN funcionam com lubrificante, possibilitando um maior deslocamento das argamassas que utilizam o mesmo.

O ensaio de penetração de cone comprova o comportamento observado no ensaio de squeeze e no índice de consistência, apresentando diferença de penetração entre as argamassas com os diferentes agregados, logo a forma dos grãos e o teor de água influenciam em todas as propriedades das argamassas no estado fresco.

Nas argamassas ABVSI#VSI e AN#VSI, observa-se que o aumento no teor de fíler resulta em um aumento na retenção de água e na densidade de massa destas argamassas.

#### 4.6 ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO CONFECCIONADAS NA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA DE BRITAGEM VSI (ABVSI)

##### 4.6.1 Densidade de massa

A Figura 61 e o apêndice I representam os resultados médios de três corpos de prova para o ensaio de densidade de massa das argamassas ABVSI#VSI e AN#VSI.

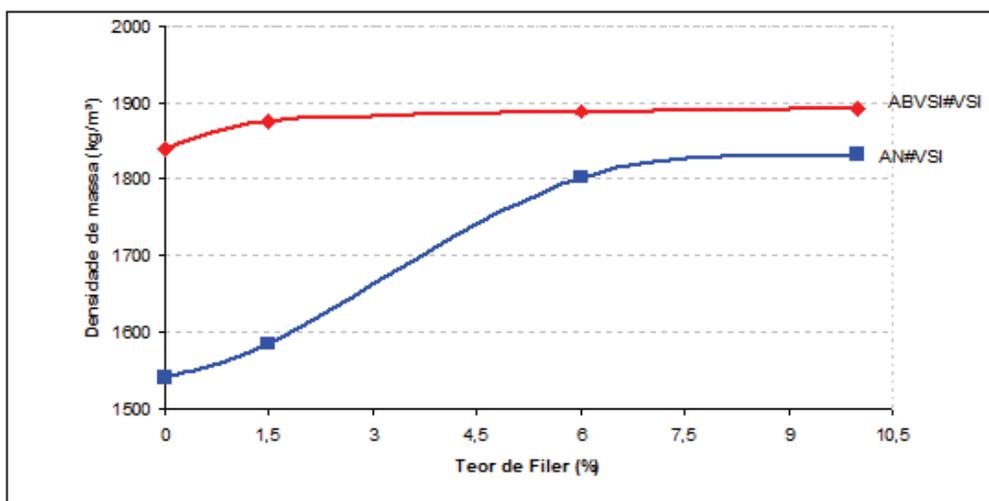


Figura 61 – Densidade de massa das argamassas no estado endurecido.

As argamassas ABVSI#VSI apresentaram maior densidade de massa quando comparadas as argamassas AN#VSI variando de 3 a 16%, esta diferença deve-se

principalmente a quantidade excessiva de água utilizada para as argamassas AN#VSI. A diferença de massas do estado endurecido foi mais evidente do que a diferença de massa do estado fresco, porém a tendência de comportamento foi semelhante.

O acréscimo de fíler ocasionou o aumento de densidade massa no estado endurecido das argamassas ABVSI#VSI e AN#VSI, pois o acréscimo de fíler empacotou melhor os grãos dando assim, um resultado de densidade de massa maior. Constatação também visualizada no ensaio de densidade de massa no estado fresco das argamassas.

#### 4.6.2 Resistência à Compressão e à Tração na Flexão

As Figuras 62, 63 e o Apêndice I representam os resultados médios de três corpos de prova para o ensaio de tração na flexão e de seis corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão das argamassas ABVSI#VSI e AN#VSI.

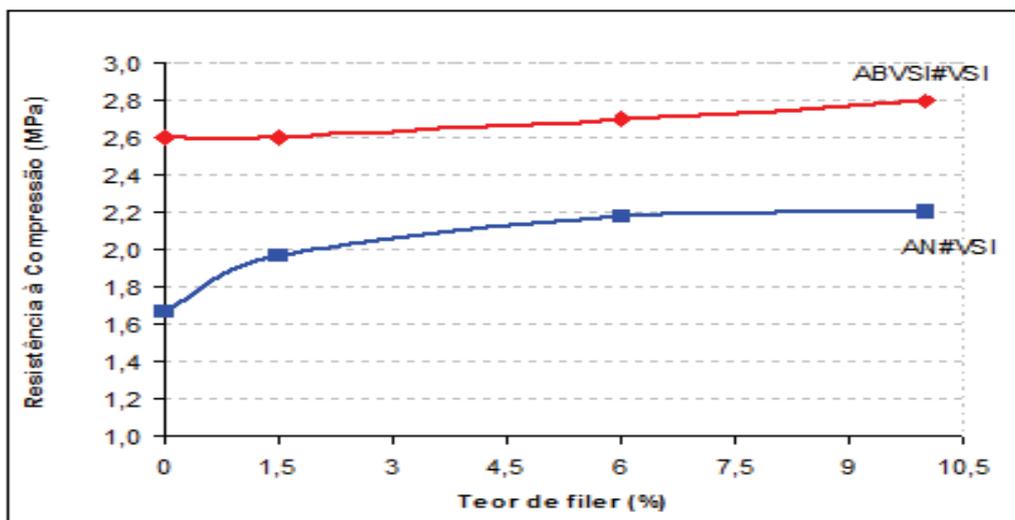


Figura 62 – Resistência à compressão das argamassas.

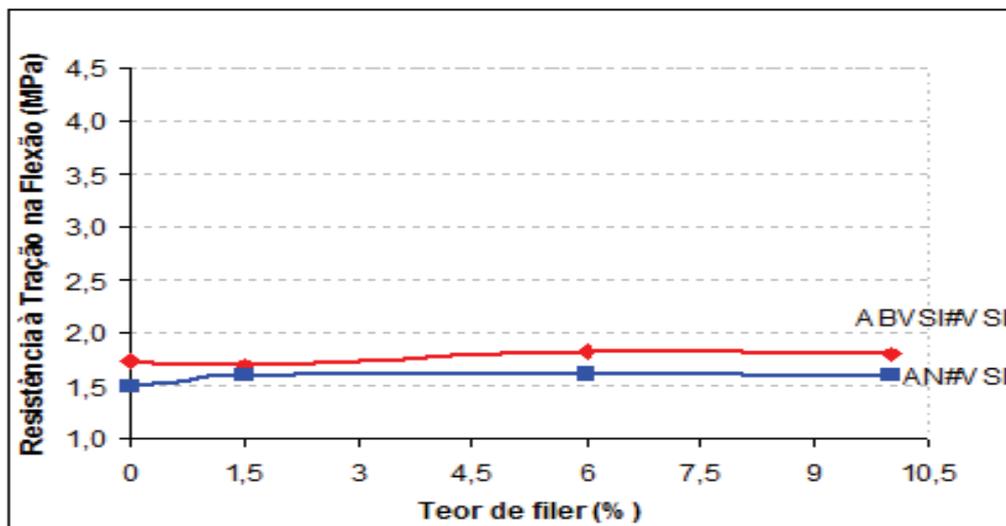


Figura 63– Resistência à tração na flexão das argamassas.

Para todas as argamassas em estudo, quanto maior a quantidade de fíler utilizado maiores as resistências mecânicas. Este aumento nas resistências mecânicas deve-se provavelmente ao melhor empacotamento dos grãos confirmado no ensaio de densidade de massa tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

A resistência à compressão das argamassas ABVSI#VSI são maiores quando comparadas com AN#VSI em torno de 19 a 36%, devido principalmente a quantidade excessiva de água utilizada para os traços das argamassas produzidas com AN#VSI e a menor densidade de massa dessas argamassas.

Ao analisar verifica-se que as resistências à tração na flexão das argamassas ABVSI#VSI são superiores as argamassas AN#VSI variando de 5 a 14%. Indício de que a ABVSI#VSI em função da sua textura superficial mais rugosa, possua maior área de contato pasta/agregado, o que propicia um aumento da aderência da pasta/agregado, tornando as argamassas com maior compacidade, segundo Silva (2006).

#### 4.6.3 Módulo de Elasticidade Dinâmico

A Figura 64 e o Apêndice I representam os resultados médios de três corpos de prova para o ensaio de módulo de elasticidade dinâmico das argamassas ABVSI#VSI e AN#VSI.

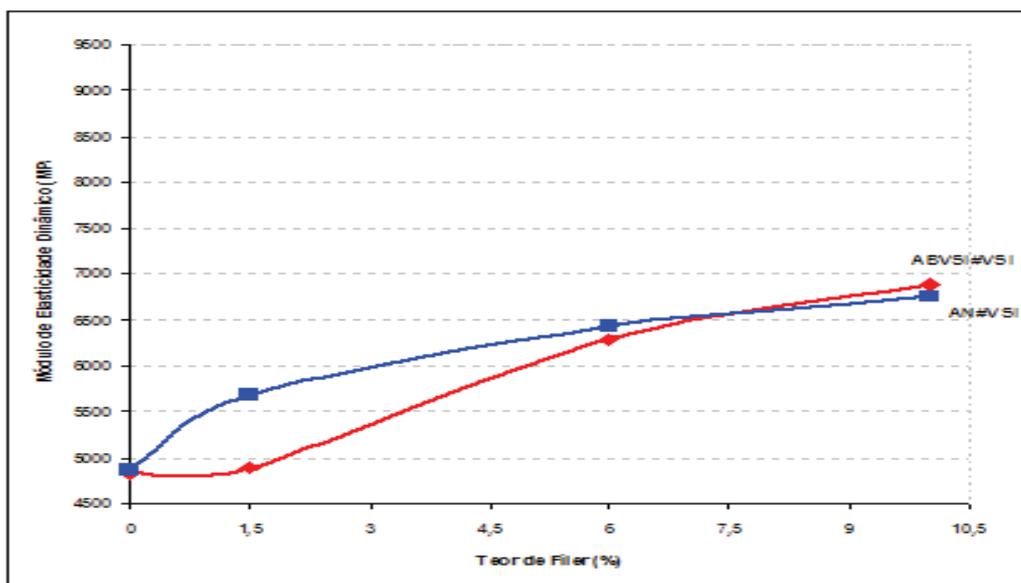


Figura 64 – Módulo de elasticidade dinâmico.

Não houve diferenciação entre os módulos de elasticidade entre as argamassas produzidas com ABVSI#VSI e as argamassas produzidas com AN#VSI. O aumento da quantidade de fíler nas argamassas confeccionadas com ABVSI#VSI e AN#VSI aumentou o módulo de elasticidade dinâmico, em função do melhor empacotamento dos grãos.

#### 4.6.4 Absorção de água, índice de vazios e massa específica

A Tabela 22 e as Figuras 65, 66 e 67 apresentam os resultados de absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica das argamassas.

Tabela 22 - Absorção por imersão, índice de vazios e massas específica das argamassas.

Argamassas	Absorção (%)	Índices de vazios (%)	Massa Específica Real (kg/dm <sup>3</sup> )
ABVSIF0#VSI	17,19	31,84	2,70
ABVSIF1,5#VSI	17,14	31,83	2,73
ABVSIF6#VSI	17,11	31,68	2,73
ABVSIF10#VSI	16,86	31,50	2,73
ANF0#VSI	15,65	29,04	2,58
ANF1,5#VSI	15,44	28,80	2,58

Argamassas	Absorção (%)	Índices de vazios (%)	Massa Específica Real (kg/dm <sup>3</sup> )
ANF6#VSI	15,35	28,29	2,62
ANF10#VSI	15,24	28,21	2,62

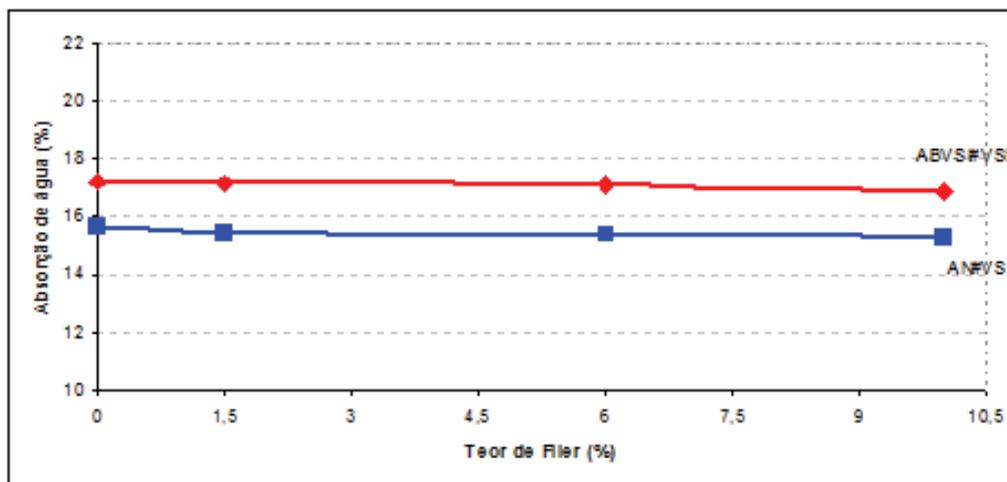


Figura 65 – Absorção de água por imersão.

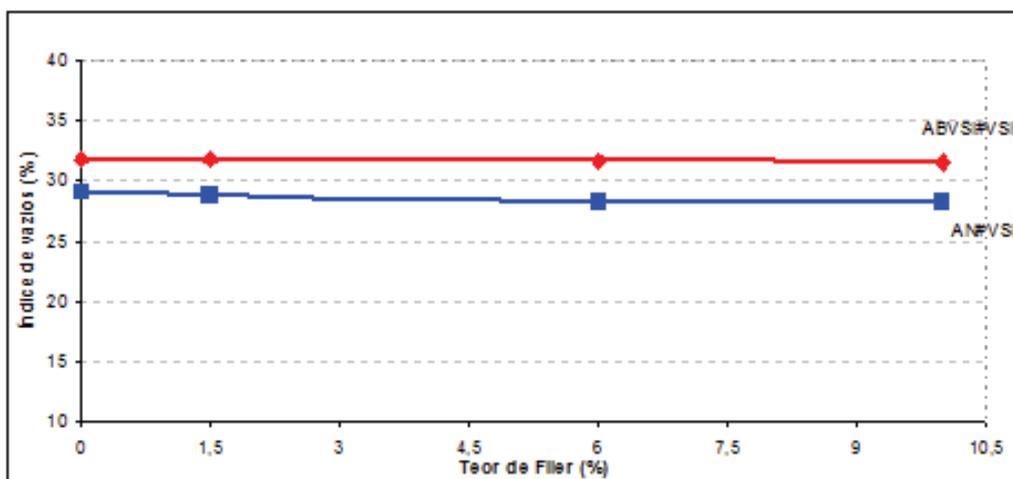


Figura 66 – Índices de vazios.

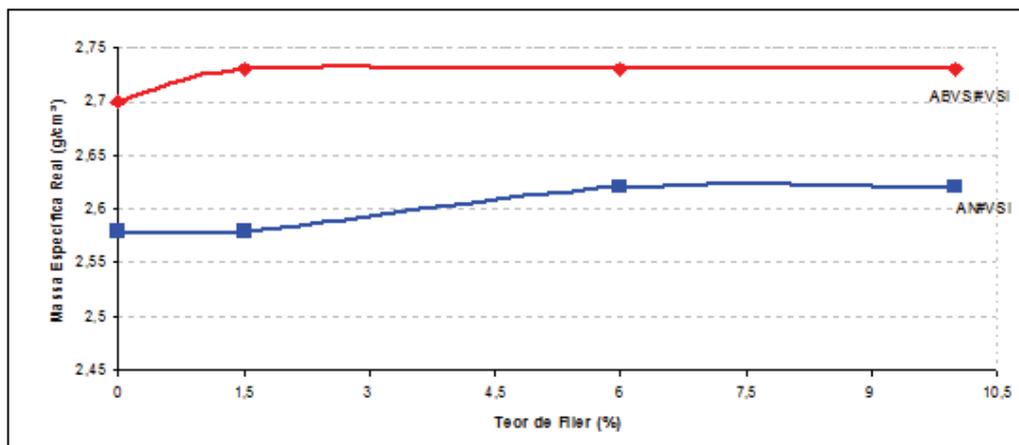


Figura 67 – Massa específica real.

Nas Figuras 65, 66 e 67 e na Tabela 22 verificou-se quanto maior o teor de fíler das argamassas ABVSI#VSI e AN#VSI, menor absorção de água e menor índice de vazios, gerando argamassas com massa específica no estado endurecido maiores. As argamassas ABVSI#VSI apresentaram a maior absorção de água total quando comparadas com as argamassas AN#VSI em torno de 9 a 10%, também apresentaram o maior índice de vazios quando comparada as argamassas AN#VSI em torno de 9 a 11%. Também apresentaram as maiores massas específicas, em torno de 4 a 5%, quando comparadas as AN#VSI.

#### 4.6.5 Absorção de Água por Capilaridade e Coeficiente de Capilaridade

A Tabela 23 e o Apêndice J apresentam os resultados da absorção de água por capilaridade para as argamassas confeccionadas na curva VSI. Observa-se que as argamassas que apresentam maior absorção de água por capilaridade são as AN#VSI. As argamassas ABVSI#VSI apresentaram a menor absorção de água por capilaridade. Ao aumentar o teor de fíler diminui a absorção de água capilar para as argamassas AN#VSI e ABVSI#VSI.

Tabela 23 – Absorção de água por capilaridade.

Argamassas	Absorção de água por capilaridade em 10 min. (g/cm <sup>2</sup> )	Absorção de água por capilaridade em 90 min. (g/cm <sup>2</sup> )
ABVSI#VSI	0,58	1,60

Argamassas	Absorção de água por capilaridade em 10 min. (g/cm <sup>2</sup> )	Absorção de água por capilaridade em 90 min. (g/cm <sup>2</sup> )
ABVSIF1,5#VSI	0,69	1,89
ABVSIF6#VSI	0,79	1,93
ABVSIF10#VSI	0,75	1,90
AN#VSI	0,66	1,65
ANF1,5#VSI	0,64	1,74
ANF6#VSI	0,77	1,98
ANF10#VSI	0,83	2,01

O Apêndice J demonstra os resultados de coeficiente de capilaridade para as argamassas em estudo. Para todas as argamassas ABVSI#VSI e AN#VSI, quanto maior o teor de fíler na mistura menor o coeficiente de capilaridade. A areia AN#VSI apresentou o maior coeficiente de capilaridade quando comparada a ABVSI#VSI variando de 9 a 46%, dependendo do teor de fíler utilizado na composição da argamassa.

O baixo coeficiente de capilaridade das argamassas ABVSI deve-se, provavelmente, as especificações exigidas pela norma. Pois a mesma prevê para o cálculo de coeficiente de capilaridade a diferença de absorção de água entre os dez minutos e os noventa minutos, não levando em consideração a absorção inicial do corpo de prova (do instante zero aos dez minutos). Por isso pode ter gerado uma inversão na curva do coeficiente de capilaridade quando comparado ao a curva do ensaio de absorção de água das argamassas.

#### 4.6.6 Retração Linear

Na Figura 68 e no Apêndice I estão apresentados os resultados de retração das argamassas em estudo.

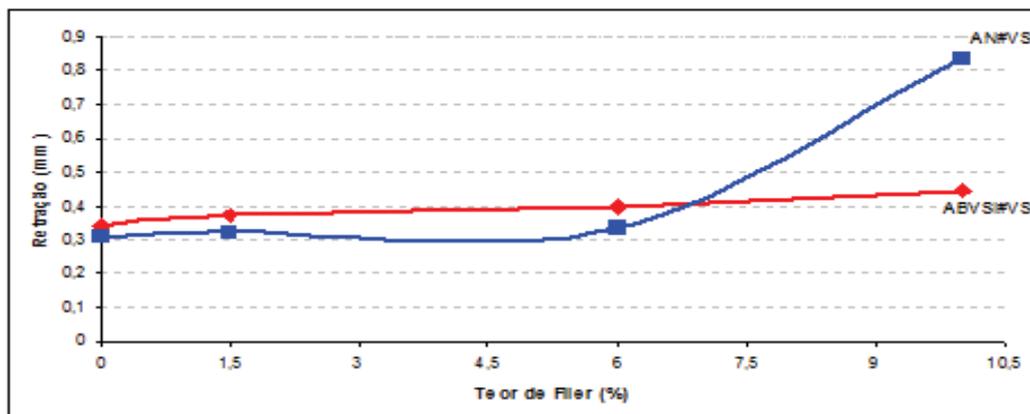


Figura 68 – Retração.

Percebe-se claramente que ao acrescentar um teor maior de fíler aumenta a retração das argamassas em estudos. A ABVSI#VSI apresentou um maior teor de retração em praticamente todas as argamassas analisadas com exceção da ABVSI#VSI em que a argamassa ANF10#VSI apresentou a maior retração, constatação observada por Tristão (2005), onde as argamassas produzidas com areia de pedra e com as composições granulométricas e as proporções em volume fixas apresentaram as maiores retrações.

#### 4.6.7 Considerações sobre as argamassas no estado endurecido

Ao adicionar fíler nas areias ABVSI#VSI para produção das argamassas no teor de até 1,5%, maior a quantidade de água de amassamento para chegar ao índice de consistência definido. Já para os teores de 6 e 10% de fíler, a quantidade de água necessária diminuiu, comprovando a eficácia do fíler na trabalhabilidade dessas argamassas.

Ao encontrar uma distribuição granulométrica com o melhor empacotamento para a areia ABVSI#VSI produziu-se argamassas com viscosidade, tensão de escoamento e trabalhabilidade adequadas para aplicação. Algumas propriedades foram influenciadas, em função do proporcionamento correto dos grãos, as resistências mecânicas e a densidade de massa aumentaram, comprovando uma melhora no empacotamento das argamassas. Já a retenção de água também aumentou, resultando em uma maior retração nas argamassas em estudo. Apesar de o empacotamento ter sido melhorado, a forma do grão ainda prejudicou algumas propriedades como: diminuição no módulo de elasticidade dinâmico ocasionado pelo maior índice de vazios,

conseqüentemente uma maior absorção de água total e uma menor massa específica. Porém a absorção de água por capilaridade e o coeficiente de capilaridade destas argamassas forma menores, provavelmente por apresentarem poros de menor dimensão.

#### **4.7 ENSAIOS NOS REVESTIMENTOS REALIZADOS COM AS ARGAMASSAS PRODUZIDAS NA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA DE BRITAGEM VSI (ABVSI)**

As argamassas ABVSI#VSI, com os diferentes teores de fíler apresentaram melhora na facilidade de lançamento, aderência inicial, no desempenho e no acabamento final, quando comparadas às argamassas ABVSI. Contudo, mesmo com essa melhora ainda apresentaram aderência no momento do lançamento e acabamento final inferiores, as argamassas AN devido ao fato de terem grãos mais angulosos, com baixo grau de arredondamento e textura áspera.

Não foi possível realizar a aplicação das argamassas AN#VSI em função da baixa viscosidade e do excesso de fluidez das mesmas, estas argamassas apresentaram problemas de aderência ao substrato no momento do lançamento, escorriam pelo substrato e não aderiam ao mesmo. Não foi possível realizar o revestimento das mini paredes com estas argamassas.

##### **4.7.1 Resistência de aderência à tração**

Apresentação dos resultados de aderência à tração, obtidos nos dois tipos de substrato (BaSi e BbSi) estão apresentados nas Figuras 69 e 70. As formas de rupturas encontradas no ensaio e as resistências de aderência estão melhores detalhadas no Apêndice L.

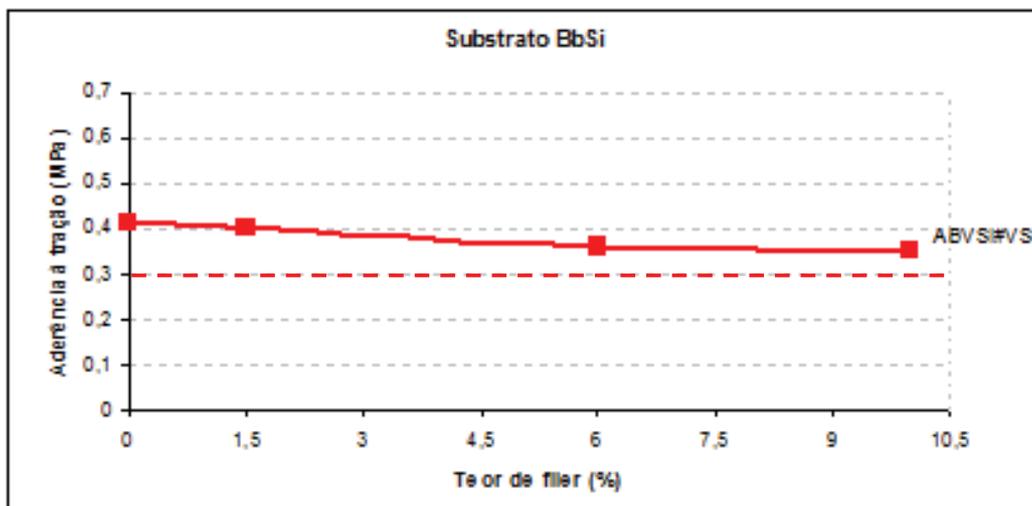


Figura 69 – Resistência de aderência à tração no substrato BbSi

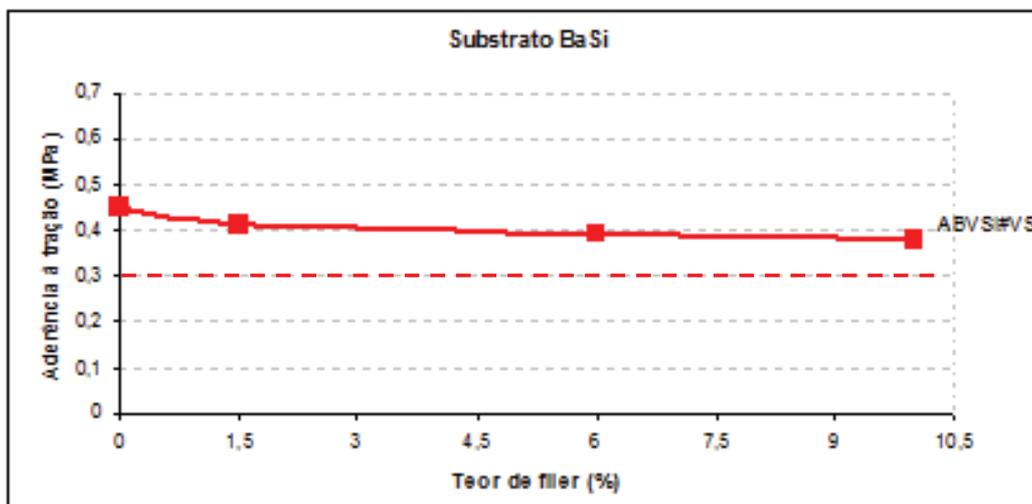


Figura 70 – Resistência de aderência à tração no substrato BaSi

As argamassas ABVSI#VSI apresentam resistências de aderência à tração classificada como A3  $\geq 0,3$ MPa, conforme a norma ABNT NBR 13281:2005 em todas as proporções de mistura.

Observa-se também, quanto maior o teor de fíler das argamassas menor a resistência à aderência das mesmas. O fíler pode, neste caso, estar influenciando na passagem de água das argamassas para base, diminuindo a aderência das mesmas.

Como pode-se observar no gráfico, as características do substrato exercem influência significativa no desempenho de resistência de aderência dos revestimentos. Essa influência ocorreu em todas as argamassas, sendo que as maiores resistências de

aderência foram obtidas nos revestimentos aplicados sobre o substrato BaSi, nota-se que nos blocos BbSi a maioria das rupturas se deu no substrato e não na argamassa, pois o substrato apresentou resistência de aderência à tração inferior a resistência mínima da argamassa ensaiada.

#### 4.7.2 Análise da fissuração

Foi medida a extensão das fissuras visíveis na superfície de cada revestimento de argamassa, conforme Figura 71.



Figura 71 – Análise da fissuração: ABVSI#VSI substrato BbSi

Os níveis de fissuração médios de cada mini parede estão expressos na Tabela 24, o comprimento total das fissuras medido nas paredes está expresso no Apêndice I.

Tabela 24 –Fissuração nas argamassas aplicadas sobre diferentes bases.

Argamassas	Nível de fissuração (BbSi)	Nível de fissuração (BaSi)
ABVSIF0#VSI	37,44 cm/m <sup>2</sup>	49,44 cm/m <sup>2</sup>
ABVSIF1,5#VSI	36,35 cm/m <sup>2</sup>	47,55 cm/m <sup>2</sup>
ABVSIF6#VSI	20,22 cm/m <sup>2</sup>	45,69 cm/m <sup>2</sup>

Argamassas	Nível de fissuração (BbSi)	Nível de fissuração (BaSi)
ABVSIF10#VSI	15,92 cm/m <sup>2</sup>	33,12 cm/m <sup>2</sup>

Percebe-se que quanto maior a quantidade de fíler utilizada na mistura, menor o grau de fissuração. As características da base influenciam na fissuração, sendo mais expressiva na base BaSi. Não foi possível realizar o revestimento com as argamassas AN#VSI, com isso foi impossível comparar os resultados das argamassas ABVSI#VSI com as argamassas AN#VSI.

#### 4.7.3 Análise conjunta dos resultados de retração e fissuração.

Os resultados de retração e fissuração das argamassas estão apresentados na Figura 72 e no Apêndice I.

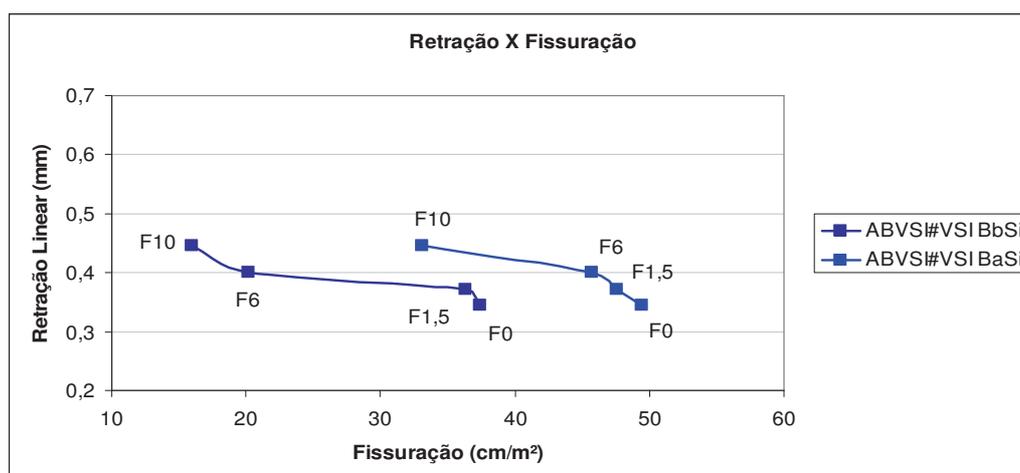


Figura 72 – Retração x Fissuração.

Percebe-se que existe relação entre a fissuração e retração. Entretanto, a absorção da base influencia os resultados de fissuração do revestimento: quanto maior a absorção inicial da base, maior a fissuração das argamassas em estudo.

A adição de fíler diminui a retração linear das argamassas e a fissuração dos revestimentos. A redução da fissuração pode ser percebida nos dois diferentes substratos tendo maior intensidade no substrato de alta absorção inicial (BaSi).

## 4.8 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A NORMA ABNT NBR 13281:2005

### 4.8.1 Areias confeccionadas na distribuição granulométrica da AN.

A Tabela 25 apresenta um resumo dos resultados dos ensaios realizados no estado fresco, endurecido e a classificação segundo os requisitos da ABNT NBR 13281:2005 das argamassas produzidas com areia AN e areia britada respectivamente.

Tabela 25 – Classificação segundo os requisitos da ABNT NBR 13281:2005

Argamassas	Classificação segundo NBR 13281						
	P	M	R	C	D	U	A
AN	P3	M6	R4	C6	D5	U3	A3
ANF1,5	P3	M6	R4	C5	D5	U4	A3
ANF6	P3	M6	R4	C5	D5	U5	A3
ANF10	P3	M6	R4	C5	D5	U6	A3
ABVSI	P3	M6	R2	C5	D5	-	A3
ABVSIF1,5	P3	M6	R2	C5	D5	-	A2
ABVSIF6	P3	M6	R2	C5	D5	-	A2
ABVSIF10	P3	M6	R2	C5	D5	-	-
ABM	P2	M5	R2	C5	D5	-	-
ABMF1,5	P2	M5	R2	C5	D5	-	-
ABMF6	P2	M5	R2	C5	D5	-	-
ABMF10	P2	M5	R2	C5	D5	-	-

Legenda:

P – resistência à compressão (MPa)

M – densidade de massa aparente no estado endurecido ( $\text{kg/m}^3$ )

R – resistência à tração na flexão (MPa)

C – coeficiente de capilaridade ( $\text{g/dm}^2/\text{min}^{1/2}$ )

D – densidade de massa no estado fresco ( $\text{kg/m}^3$ )

U – retenção de água (%)

A – resistência potencial de aderência a tração (MPa)

Ao analisar as argamassas, segundo os padrões especificados pela norma ABNT NBR 13281:2005, percebe-se que a argamassa AN diferencia-se da argamassa ABVSI somente na resistência à tração na flexão (R), no potencial de aderência à tração (A) (nos ensaios que foram possíveis a execução) e na retenção de água (U) (que não foi possível realizar o ensaio), nos demais requisitos previstos pela norma as argamassas AN e ABVSI encontram-se dentro das mesmas classes. Já ao comparar as argamassas AN com as argamassas ABM, as mesmas encontram-se em classes iguais nos ensaios de coeficiente de capilaridade (C) e densidade de massa no estado fresco (D), nos demais ensaios (que foram possíveis a execução) as argamassas estão em classes diferentes previstas pela ABNT NBR 13281:2005.

Ao acrescentar fíler nas argamassas com AN, o acréscimo do mesmo se refletiu somente no ensaio de retenção de água (U) para os teores de 6 e 10% de fíler, nos demais requisitos, acrescentando ou não fíler as argamassas permaneceram nas mesmas classes especificadas pela norma. Para as argamassas ABVSI a influência do fíler foi percebida no ensaio de aderência (A), havendo uma mudança de classes a medida que acrescentou fíler na mistura. Na argamassa ABM a influência do fíler não foi identificada nas classes previstas pela ABNT NBR 13281:2005.

Contudo conclui-se, que as diferenças expressivas dos resultados encontrados para as diferentes areias nas propriedades das argamassas não são consideradas nos parâmetros estipulados pela ABNT NBR 13281:2005. Ao comparar as diferentes argamassas em função dos padrões previstas pela ABNT NBR 13281:2005 pode-se afirmar que não existem diferenças expressivas nas argamassas confeccionadas com areia de britagem em relação às argamassas confeccionadas com AN, pois as mesmas encontram-se, praticamente dentro da mesma classificação.

#### **4.8.2 Areias confeccionadas na distribuição granulométrica da ABVSI.**

A Tabela 26 apresenta um resumo dos resultados dos ensaios realizados no estado fresco, endurecido e a classificação segundo os requisitos da ABNT NBR 13281:2005 das argamassas produzidas com areia britada e areia AN respectivamente.

Tabela 26 – Classificação segundo os requisitos da ABNT NBR 13281:2005

Argamassas	Classificação segundo NBR 13281						
	P	M	R	C	D	U	A
ABVSI#VSI	P3	M6	R2	C5	D5	U6	A3
ABVSIF1,5#VSI	P3	M6	R2	C5	D5	U6	A3
ABVSIF6#VSI	P3	M6	R2	C6	D5	U6	A3
ABVSIF10#VSI	P3	M6	R2	C6	D5	U6	A3
AN#VSI	P2	M6	R2	C6	D5	U6	-
ANF1,5#VSI	P2	M4	R2	C6	D5	U6	-
ANF6#VSI	P2	M4	R2	C6	D5	U6	-
ANF10#VSI	P2	M6	R2	C6	D5	U6	-

A areia ABVSI#VSI diferencia-se da areia AN#VSI na resistência a compressão (P), no potencial de aderência à tração (A) (as argamassas AN#VSI não foi possíveis a execução do ensaio) e no coeficiente de capilaridade (C), nos demais requisitos previstos pela norma as argamassas ABVSI#VSI e AN#VSI encontram-se dentro das mesmas classes previstas pela ABNT NBR 13281:2005.

Ao acrescentar fíler nas argamassas com ABVSI#VSI, o acréscimo do mesmo se refletiu somente no ensaio de coeficiente de capilaridade (C) para os teores de 6 e 10% de fíler nos demais requisitos, acrescentando ou não fíler as argamassas permaneceram nas mesmas classes especificadas pela norma. Para as argamassas AN#VSI a influencia do fíler foi percebida no ensaio de densidade de massa aparente (M), havendo uma mudança de classes nos teores de 1,5 e 6% de fíler adicionada na mistura.

Para estas argamassas também não foi percebida as diferenças expressivas dos resultados encontrados para as diferentes areias nas propriedades das mesmas, através dos parâmetros estipulados pela ABNT NBR 13281:2005. Ao comparar as diferentes areias em função das classes previstas pela ABNT NBR 13281:2005 pode-se afirmar que não existem diferenças expressivas nas argamassas confeccionadas com areia de britagem em relação às argamassas confeccionadas com AN nas diversas classes previstas pela ABNT NBR 13281:2005, pois as mesmas encontram-se, praticamente dentro das mesmas classificações.

## 5. CONCLUSÕES

### 5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

#### *Materiais utilizados*

Há diferenças expressivas na distribuição granulométrica original das três areias utilizadas no presente trabalho. Existem diferenças de concentração de grãos em praticamente todas as faixas granulométricas: a AN possui maior quantidade de grãos nas peneiras de menor dimensão, a ABVSI apresenta uma composição mais uniforme, e a ABM apresenta maior quantidade de grãos de maior dimensão. Porém, como o objetivo do trabalho foi a verificação da influência da forma e do teor de fíler do agregado nas propriedades das argamassas, a diferença de distribuição granulométrica foi eliminada neste trabalho, a partir da reconstituição das areias em uma mesma distribuição granulométrica. Foram utilizadas como referência a distribuição granulométrica que gerou o melhor empacotamento para areia AN assim como para a areia ABVSI.

Verifica-se que o peneiramento não é suficiente para se conhecer a real dimensão dos grãos. Ao realizar o ensaio de morfoscopia, observou-se que há grãos com dimensão máxima muito superior ao tamanho da malha utilizada no peneiramento de cada fração granulométrica, o que demonstra que grãos que possuem forma alongada, passam pelas malhas das peneiras.

A massa unitária da ABM (1510,10 kg/dm<sup>3</sup>) é superior a da AN (1474,87 kg/dm<sup>3</sup>), que por sua vez é superior a da ABVSI (1360,75 kg/dm<sup>3</sup>). A massa específica da ABM e ABVSI é de 2,64g/cm<sup>3</sup>, que é superior aos resultados encontrados para AN, que é de 2,48 g/cm<sup>3</sup>.

Os materiais possuem originalmente diferenças nos teores de fíler, sendo que a AN se aproxima de 1,5% e as areias de britagem de rocha basáltica variam entre 8 a 16%, segundo a bibliografia. Sendo de 1,5; 9,2 e 11,2% os teores de fíler das areias utilizadas neste trabalho. Para fins de comparação, foram adotados os teores de 1,5; 6 e 10%.

Ao analisar qualitativamente os grãos dos diferentes agregados, percebe-se que as partículas da ABM são angulosas com baixo grau de esfericidade, enquanto as partículas da ABVSI são subangulosas com baixo grau de esfericidade e as partículas da AN são subarredondadas com alto grau de esfericidade. Já na análise quantitativa dos agregados conclui-se que a areia AN apresentou um melhor arredondamento e uma melhor esfericidade quando comparada com as demais areias. A areia ABVSI possui o segundo melhor arredondamento e esfericidade. Logo, as projeções dos grãos da AN são mais circulares que os da ABVSI que por sua vez são mais circulares que os da ABM. Observa-se que os resultados da análise visual e da análise quantitativa são coerentes, confirmando que a AN apresenta a melhor forma de grãos nas duas análises, seguida pela ABVSI e a ABM, que foi a areia que apresentou a pior forma.

Constata-se que a influência da forma dos grãos das areias no empacotamento das partículas é marcante. Salienta-se a grande diferença entre a esfericidade e o arredondamento das areias quando se muda a origem e o tipo de britador utilizado para obtenção das mesmas.

#### *Argamassas no estado fresco – Distribuição granulométrica da AN*

Após a análise dos resultados experimentais obtidos no presente trabalho, conclui-se que a esfericidade e o arredondamento das areias empregadas na produção das argamassas de revestimento e o teor de fíler interferem substancialmente nas propriedades das argamassas de revestimento.

Verificou-se que quanto mais arredondado o agregado menor a quantidade de água para se atingir o índice de consistência desejado. A esfericidade e o arredondamento dos grãos influenciam diretamente na trabalhabilidade das argamassas. A diferença de consistência em função da substituição de um agregado arredondado por um agregado com baixo coeficiente de arredondamento e esfericidade foi da ordem de 2 vezes, no estudo realizado.

A diferença de trabalhabilidade torna-se mais visível no ensaio de squeeze flow, onde pode-se observar a necessidade, em algumas situações, de um esforço muito maior para se atingir um mesmo deslocamento, nas argamassas confeccionadas com areia de britagem (com menor grau de arredondamento). Na situação de substituição da areia AN por areia de britagem, a diferença de deslocamento para uma velocidade de

aplicação de carga de 0,1mm/s varia aproximadamente 170%, demonstrando que a aplicação das argamassas confeccionadas com ABVSI e ABM será dificultada ou até mesmo impossível. Observou-se que as argamassas com deslocamentos máximos entre 2914 $\mu$ m a 3843 $\mu$ m, (argamassas confeccionadas com AN) apresentaram uma boa aderência inicial e um acabamento superficial de boa qualidade, e se enquadraram na zona de possível aplicação. As argamassas ABVSI que encontram-se, em maior predominância, na zona de difícil aplicação, são as que apresentaram deslocamento variando de 1957 $\mu$ m a 2319 $\mu$ m. Já as argamassas ABM que encontram-se com deslocamento entre 1436 $\mu$ m a 1682 $\mu$ m, foram impossíveis de ser aplicadas nos substratos analisados.

Ao se analisar o ensaio de penetração de cone, percebe-se que há diferenças expressivas na viscosidade das argamassas, não expressas em seu índice de consistência. A AN é a argamassa com menor viscosidade, pois os grãos são mais arredondados, o que altera a tensão de escoamento da argamassa, permitindo uma maior penetração do cone. Ela é seguida pela argamassa ABVSI. A argamassa com maior viscosidade é a ABM. A penetração de cone da AN é maior do que a penetração da ABVSI (50 a 84%) e maior do que a da ABM (80 a 84%). Ao se comparar a facilidade de execução do revestimento realizado por um profissional com o resultado do ensaio de penetração de cone, pode-se afirmar que as argamassas AN, que obtiveram uma penetração de cone entre 44mm a 50mm, apresentaram uma boa aderência já no momento do lançamento, um acabamento superficial de boa qualidade e se enquadraram na zona de possível aplicação. As argamassas ABVSI que encontram-se, em maior predominância, na zona de difícil aplicação, são as que apresentaram penetração de cone variando de 13mm a 25mm. Já as argamassas ABM, com profundidade de penetração de cone entre 07mm e 10mm, não possibilitaram aplicação nos substratos analisados.

A deficiência de adensamento das argamassas com areia de britagem se refletiu na densidade de massa das argamassas. As argamassas AN apresentaram maior densidade de massa quando comparadas com as argamassas ABVSI variando de 3 a 4% dependendo do teor de fíler e, quando comparadas com as argamassas ABM, também apresentaram menores densidades de massa variando de 8 a 11% dependendo do teor de fíler adicionado a mistura. Quanto menos arredondada e menos esférica a forma dos

agregados, menor a densidade de massa das argamassas. O teor de fíler adicionado à mistura aumentou a densidade de massa e a viscosidade das argamassas.

*Argamassas no estado endurecido – Distribuição granulométrica da AN*

A substituição do agregado resultou em diferenças nas argamassas no estado endurecido. Os grãos da areia AN por apresentarem uma melhor forma, resultando em um melhor empacotamento, produziram argamassas com maior densidade de massa no estado endurecido.

Constatou-se que quanto maior a quantidade de fíler adicionados nas areias para produção das argamassas, menor a quantidade de água de amassamento para chegar ao mesmo índice de consistência e como consequência um aumento na densidade de massa, nas resistências mecânicas, no módulo de elasticidade dinâmico e na fissuração destas argamassas e uma diminuição na absorção de água por capilaridade, na absorção de água e no índice de vazios. A fração fina, além de gerar maior teor de pasta na argamassa, ocupa os vazios entre a fração maior de agregado miúdo, aumentando assim o empacotamento dos grãos.

A forma do grão da AN foi responsável pelas maiores resistências mecânicas das argamassas confeccionadas com esta areia. A maior resistência mecânica se deu pelo maior empacotamento dos grãos, gerando argamassas com menores quantidades de vazios e consequentemente com maior densidade de massa no estado endurecido.

A resistência à compressão da argamassa AN é maior do que à da ABVSI (entre 2 e 8%). A diferença com relação à argamassa ABM, entretanto, é muito expressiva, chegando a cerca de 100%. Nesta propriedade, a diferença de forma entre os grãos da ABM exerceu grande influencia, quando comparada as argamassas confeccionadas com AN e ABVSI.

Pode-se verificar que as resistências à flexão das argamassas AN são superiores as argamassas ABVSI variando de 23 a 36%. Já para as argamassas ABM as argamassas AN são superiores variando em torno de 32 a 48%.

As argamassas com o maior módulo de elasticidade dinâmico, foram as confeccionadas com AN, que pela forma mais arredondada e esférica do grão, geraram argamassas com menores quantidades de vazios. As argamassas produzidas com AN

apresentam um módulo de elasticidade dinâmico maior do que as argamassas produzidas com ABVSI que varia de 4 a 18%, e maior que as argamassas produzidas com ABM variando em torno de 11 a 22%.

A forma dos grãos também teve influência significativa no índice de vazios das argamassas. As argamassas produzidas com areias de britagem apresentaram maiores índices de vazios resultando em maior absorção de água. Observa-se que as argamassas que apresentaram as maiores absorções de água são as confeccionadas com ABM, seguidas da ABVSI e posteriormente AN, o que vem confirmar todas as análises do estado fresco de que a forma das areias interfere nas propriedades das argamassas no estado fresco, e que, por sua vez, altera as propriedades das argamassas no estado endurecido.

As argamassas confeccionadas com areia de britagem apresentaram as menores retrações, porém cabe ressaltar que a trabalhabilidade destas argamassas estava prejudicada pela baixa quantidade de água de amassamento, que gerou alta quantidade de vazios e conseqüentemente argamassas pouco trabalháveis e corpos de prova defeituosos.

#### *Revestimentos – Distribuição granulométrica da AN*

A forma dos grãos, o teor de fíler e as características da base influenciam o nível de fissuração da argamassa. As características da base exercem influência na fissuração, que foi mais expressiva na base de alta absorção inicial (BaSi). Percebe-se que quanto maior a quantidade de fíler utilizada na mistura, maior o grau de fissuração, o que é coerente com o ensaio de retração linear, onde as maiores retrações ocorreram nas argamassas com maior quantidade de fíler. As argamassas AN obtiveram o menor nível de fissuração quando comparadas as argamassas ABVSI, em função dos defeitos gerados no revestimento pela baixa trabalhabilidade das argamassas. Observou-se que todas as argamassas fissuraram, ao serem aplicadas nos substratos padronizados.

Percebe-se que quanto maior a absorção inicial da base, maior a fissuração das argamassas em estudo. A argamassa ABVSI apresenta menor retração quando comparada a argamassa AN (análise efetuada isoladamente, sem o efeito do substrato). Porém, ao considerar o efeito do substrato nas propriedades das argamassas percebe-se que a ABVSI tem maior fissuração, sendo que no substrato de alta absorção inicial o

efeito da fissuração se acentua. Este comportamento demonstra que o uso do ensaio de retração como forma exclusiva de se avaliar a tendência de uma argamassa a fissurar pode gerar resultados contrários ao que se observa no revestimento, pois há uma expressiva alteração na migração de água dos revestimentos, quando aplicados sobre substratos que absorvem parte da água da argamassa, o que resulta em alteração na microestrutura da argamassa.

Ao se acrescentar fíler nas argamassas, aumenta a retração linear e a fissuração, este fenômeno pode ser percebido nos dois diferentes substratos e nos dois diferentes agregados, tendo maior intensidade no substrato de alta absorção inicial.

As argamassas AN apresentam as maiores resistências de aderência à tração quando comparadas com as argamassas ABVSI variando de 33 a 67% para os revestimentos realizados nos blocos de baixa absorção inicial (BbSi) e variando de 42 a 51% para os revestimentos realizados nos blocos com alta absorção inicial (BaSi). As características do substrato exercem influência significativa no desempenho de resistência de aderência dos revestimentos. Essa influência ocorreu em todas as argamassas, sendo que as maiores resistências de aderência foram obtidas nos revestimentos aplicados sobre o substrato com absorção de água menor, substrato BaSi. Nota-se que a argamassa com AN possui resistência potencial de aderência à tração classificada como  $A3 \geq 0,3\text{MPa}$ , especificada na norma ABNT NBR 13281:2005. Com a substituição da AN pela areia de britagem, o único traço que apresentou resistência de aderência  $\geq 0,3\text{MPa}$  foi o de areia de britagem sem fíler (ABVSIF0).

Analisando-se os resultados obtidos nos ensaios realizados no presente trabalho, referentes à facilidade de execução, acabamento, resistência de aderência à tração e fissuração dos revestimentos confeccionados com AN, ABVSI e ABM, aplicados sobre bases com diferentes coeficientes de absorção de água, pode-se relacionar as seguintes considerações:

Na execução do revestimento, quanto ao lançamento e facilidade de execução, foi verificado que as argamassas produzidas com a areia de britagem com piores coeficientes de forma (ABM) são inadequadas para uso, assim como as areias de britagem com forma intermediária com os maiores teores de fíler (ABVSIF10). Estas argamassas não apresentam aderência inicial, inviabilizando o seu uso. As demais

argamassas foram possíveis de aplicação, apresentaram boa aderência inicial e bom acabamento final.

*Classificação das argamassas segundo a ABNT NBR 13281:2005 – Distribuição granulométrica da AN*

Todas as argamassas utilizadas se enquadraram nas categorias P3, P2, M6, M5, R4, R2, C6, C5, D5, U3, U4, U5, U6, A3 e A2 da norma ABNT NBR 13282:2005.

Ao se analisar as argamassas em conjunto (argamassas + aplicação em substrato padronizado), nenhum traço foi adequado para utilização, porém, cabe ressaltar que a norma ABNT NBR 13281:2005 que define parâmetros a serem atendidos por uma argamassa, não leva o tipo de substrato em consideração, e apenas classifica as mesmas em diferentes classes. Ressalta-se que o simples enquadramento de uma argamassa em uma determinada classe não garante que ela seja adequada para utilização.

Verifica-se que os parâmetros de avaliação de argamassas estipulados pela ABNT NBR 13281:2005 não são suficientes para se prever o desempenho da argamassa como revestimento, sendo necessária a realização de outros ensaios, tais como squeeze flow, penetração de cone, análise da retração e, principalmente, aplicação das argamassas em substratos para análise do desempenho da mesma como revestimento.

*Considerações sobre os ensaios realizados*

Alguns ensaios se mostraram inadequados para avaliação das argamassas ABVSI e ABM, especialmente mais secas:

- Ensaio de retenção de água: a quantidade de água dessas argamassas foi insuficiente para realização do ensaio. Argamassas excessivamente secas, que aparentemente possuem um elevado volume de vazios não preenchidos por água, o ensaio de retenção de água não é recomendado.

- Ensaio de absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade: os ensaios não são recomendados para argamassas com excessivo volume de vazios, pois parte da água absorvida por capilaridade é perdida no trajeto realizado do tanque de absorção até a balança. Logo, os valores de coeficientes de capilaridade e absorção de água capilar, podem não ser reais, pela dificuldade de medir a quantidade de água absorvida pelo corpo de prova.

- Ensaio de retração linear: argamassas secas, que apresentam trabalhabilidade comprometida, não são adequadas para medir retração linear, já que os corpos de prova ficam defeituosos, com superfícies irregulares, com grande volume de vazios e ao medir pode-se levar em consideração uma falha no corpo de prova e não a real retração do mesmo.

- Aplicação da argamassa sobre bases padronizadas para medir fissuração: argamassas extremamente secas, não são indicadas para revestimento, pois as mesmas não apresentam aderência inicial e o acabamento superficial não é adequado para argamassas de revestimento.

#### *Argamassas no estado fresco – Distribuição granulométrica da ABVSI*

A diferença de forma dos grãos também foi visualizada nos ensaios onde substituiu-se a areia ABVSI#VSI pela AN#VSI. Quando utilizou-se a argamassa ABVSI#VSI como referência, foi necessário um maior teor de água para atingir a consistência especificada, em função da forma irregular deste agregado. Ao substituir o agregado por outro de melhor forma (AN#VSI), a argamassa se torna mais fluida, aumentando muito o índice de consistência (de 13 a 25%). Ao se acrescentar os teores de 1,5 e 6% de fíler nas argamassas ABVSI#VSI foi necessário um acréscimo de água que variou de 2 a 4% respectivamente, já com o acréscimo de 10% de fíler a quantidade de água necessária para atingir o índice de consistência de  $260 \pm 5$ mm diminuiu em torno de 3,5%. Observou-se que quanto maior a quantidade fíler nas argamassas ABVSI#VSI, pior a trabalhabilidade das mesmas, ao contrário do observado na argamassas AN#VSI, onde quanto maior a quantidade de fíler mais fluida se torna a argamassa, em função que o fíler para as AN funcionam com lubrificante, possibilitando um maior deslocamento das argamassas.

A diferença de trabalhabilidade torna-se mais visível no ensaio de squeeze flow, onde as argamassas confeccionadas com AN#VSI apresentaram um grande deslocamento, confirmando as suas baixas viscosidades. As argamassas ABVSI#VSI apresentaram uma viscosidade adequada para a realização dos revestimentos (enquadrando-se entre as zonas de possível aplicação e difícil aplicação), porém as argamassas AN#VSI são extremamente fluidas impossibilitando a sua aplicação.

O ensaio de penetração de cone apresentou resultados proporcionais aos observados nos ensaios de squeeze flow e índice de consistência.

As argamassas AN#VSI apresentaram uma tendência de comportamento diferenciada quando comparadas as demais argamassas em estudo, pois o teor de adição de fíler aumentou sua trabalhabilidade. Esta constatação é coerente com o ensaio de índice de consistência e squeeze flow. Observa-se que para os traços com ABVSI#VSI, utilizando ou não fíler, a penetração de cone permanece constante. Somente para a argamassa ABVSI F10#VSI a penetração de cone foi menor, quando comparada as demais argamassas ABVSI#VSI.

As argamassas confeccionadas com ABVSI#VSI apresentaram penetração de cone entre 48mm a 51mm, resultaram em boa aderência com as duas bases e se enquadraram na zona de possível aplicação. As argamassas AN#VSI apresentaram penetração de cone variando de 73mm a 88mm e encontraram-se na zona de impossível aplicação.

As argamassas produzidas com ABVSI#VSI apresentaram maior retenção de água comparando-se com as argamassas produzidas com AN#VSI, que por sua vez possuíam um teor excessivo de água.

Nas argamassas ABVSI#VSI e AN#VSI, observa-se que o aumento no teor de fíler resulta em um aumento na retenção de água e na densidade de massa.

As densidades de massa no estado fresco das argamassas ABVSI#VSI são maiores que as densidades de massa das argamassas AN#VSI, variando entre 1 e 5% dependendo do teor de fíler.

#### *Argamassas no estado endurecido – Distribuição granulométrica da ABVSI*

As argamassas ABVSI#VSI apresentaram maior densidade de massa quando comparadas as argamassas AN#VSI, variando entre 3 e 16%. Entretanto, deve-se considerar que a massa específica da areia ABVSI é 6,6% superior a da areia AN. O acréscimo de fíler ocasionou o aumento de densidade massa no estado endurecido das argamassas ABVSI#VSI e AN#VSI, constatação também visualizada no ensaio de densidade de massa no estado fresco das argamassas.

A resistência à compressão das argamassas ABVSI#VSI são maiores quando comparadas com AN#VSI, em torno de 19 a 36%. Para todas as argamassas em estudo, quanto maior a quantidade de fíler utilizado, maiores as resistências à compressão.

Verifica-se, também, que as resistências à tração na flexão das argamassas ABVSI#VSI são superiores as argamassas AN#VSI, variando de 5 a 14%. Houve também um acréscimo na resistência à tração na flexão, ao aumentar a quantidade de fíler. Este aumento nas resistências mecânicas deve-se provavelmente ao melhor empacotamento dos grãos, que pode ser confirmado pelo acréscimo de densidade de massa, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

Não houve diferenciação entre os módulos de elasticidade entre as argamassas produzidas com ABVSI#VSI e as argamassas produzidas com AN#VSI. O aumento da quantidade de fíler nas argamassas confeccionadas com ABVSI#VSI e AN#VSI aumentou o módulo de elasticidade dinâmico, em função do melhor empacotamento dos grãos.

As argamassas ABVSI#VSI apresentaram 9 a 10% de aumento na absorção de água quando comparadas com as argamassas AN#VSI, e aumento de 9 a 11% no índice de vazios, quando comparada as argamassas AN#VSI. As massas específicas aumentaram entre 4 a 5%, quando comparadas as AN#VSI, porém é necessário considerar que a massa específica da areia ABVSI é 6,6% maior que a da areia AN. A aparente contradição entre os valores de resistência compressão e os valores de absorção de água e índice de vazios deve ser decorrente da forma dos grãos. Pandolfo e Masuero (2005) indicam que as argamassas com areia de britagem possuem resistência a compressão superior a de argamassas com areia AN, e provavelmente a forma do grão se sobrepõe ao aumento do volume de vazios da argamassa. Este comportamento não foi observado no estudo com areia de britagem na curva da AN em função do teor de água das argamassas com areia de britagem ser insuficiente prejudicando a trabalhabilidade das mesmas.

As argamassas que apresentam maior absorção de água por capilaridade são as AN#VSI. Ao aumentar o teor de fíler, a absorção de água capilar diminui para ambas argamassas.

A ABVSI#VSI quando comparada a AN#VSI apresentou maior retração em praticamente todas as argamassas analisadas. Percebe-se claramente que ao acrescentar um teor maior de fíler a retração das argamassas aumenta. A maior retração da argamassa com areia de britagem também foi constatada no estudo com a areia de britagem na curva da areia AN.

#### *Revestimentos – Distribuição granulométrica da ABVSI*

As argamassas ABVSI#VSI, com os diversos teores de fíler, apresentaram melhora na facilidade de lançamento, na aderência inicial, no desempenho e no acabamento final, quando comparadas às argamassas ABVSI na curva da areia AN. Contudo, sua aderência no momento do lançamento e seu acabamento final foram inferiores às argamassas confeccionadas com a areia AN em sua distribuição granulométrica ótima. Este comportamento é decorrente da forma dos grãos, mais angulosos, com baixo grau de arredondamento e textura áspera. Alterando-se a distribuição granulométrica da areia AN, o resultado se inverte, não sendo possível realizar a aplicação das argamassas AN#VSI. Em função da baixa viscosidade e do excesso de fluidez das mesmas, estas argamassas apresentaram problemas de aderência ao substrato no momento do lançamento.

As argamassas ABVSI#VSI apresentam resistências de aderência à tração classificadas como A3 ( $\geq 0,3\text{MPa}$ ), conforme a norma ABNT NBR 13281:2005, em todas as proporções de mistura. As características do substrato exercem influência significativa no desempenho de resistência de aderência dos revestimentos. Essa influência ocorreu em todas as argamassas, sendo que as maiores resistências de aderência foram obtidas nos revestimentos aplicados sobre o substrato BaSi (com alta absorção inicial). Nota-se que nos blocos BbSi a maioria das rupturas se deu no substrato e não na argamassa, pois o substrato apresentou resistência de aderência à tração inferior a resistência mínima da argamassa ensaiada.

Quanto maior o teor de fíler das argamassas menor a resistência de aderência das mesmas. Percebe-se, entretanto, que quanto maior a quantidade de fíler utilizada na mistura, menor o grau de fissuração dos revestimentos confeccionados com ABVSI#VSI. As características da base influenciam na fissuração, sendo mais expressiva na base BaSi. Não foi possível realizar o revestimento com as argamassas

AN#VSI (devido ao excesso de fluidez) , com isso foi impossível comparar os resultados das argamassas ABVSI#VSI com as argamassas AN#VSI.

A absorção da base influenciou os resultados de fissuração do revestimento, pois quanto maior a absorção inicial da base, maior a fissuração das argamassas em estudo.

A adição de fíler diminui a retração linear das argamassas e a fissuração dos revestimentos. A redução da fissuração pode ser percebida nos dois diferentes substratos tendo maior intensidade no substrato de alta absorção inicial (BaSi).

*Classificação das argamassas segundo a ABNT NBR 13281:2005 – Distribuição granulométrica da ABVSI*

Todas as argamassas utilizadas se enquadraram nas categorias P3, P2, M6, M4, R2, C6, C5, D5, U6 e A3 da norma ABNT NBR 13282:2005.

Comparando-se as diferentes areias em função das classes previstas pela ABNT NBR 13281:2005, observou-se que tanto as argamassas confeccionadas com areia de britagem quanto as confeccionadas com AN se enquadraram, quase na sua totalidade, nas mesmas classificações. Porém, ao se analisar os revestimentos obtidos com estas argamassas, percebe-se a grande diferença existente entre elas. Pode-se afirmar que os parâmetros de avaliação de argamassas estipulados pela ABNT NBR 13281:2005 não são suficientes para se prever o desempenho da argamassa como revestimento.

*Considerações sobre os ensaios realizados*

Alguns ensaios se mostraram inadequados para avaliação das argamassas AN#VSI, especialmente muito fluidas:

- Aplicação das argamassas sobre bases padronizadas para medir fissuração: não foi possível aplicar as argamassas em função da excessiva quantidade de água das mesmas, impedindo a aderência com o substrato.

*Comentários finais*

Salienta-se no trabalho a importância da forma dos grãos e do teor de fíler das areias nas propriedades de argamassas. Os ensaios usuais, especificados na norma ABNT NBR 13281:2005, não se demonstraram suficientes para a avaliação do comportamento das argamassas, sendo aconselhável a adoção de outros ensaios e a

avaliação da influencia do substrato, em especial na avaliação do ao grau de fissuração do revestimento.

## **5.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

Como sugestões de trabalhos futuros são apresentadas as seguintes:

- avaliar a possibilidade de substituição da cal por aditivos plastificantes, na produção de argamassa de cimento e areia britada de rocha;
- estudar uma dosagem adequada para utilização da areia de britagem VSI , de modo a obter argamassas com bom desempenho e alta durabilidade.
- analisar a composição mineralógica das areias naturais e comparar com a mineralogia das areias de britagem basálticas.
- Analisar a influência da composição mineralogia das areias de britagem basálticas na durabilidade das argamassas confeccionadas com estas areias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S. L. M. **Aproveitamento de rejeitos de pedreiras de Santo Antônio de Pádua – RJ para produção de brita e areia.** 2000. Tese (Doutorado em Engenharia/Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ANGELIM, R. R. **Influência da adição de finos calcários, silicosos e argilosos no comportamento das argamassas de revestimento.** 2000. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2000.

ANTUNES, R. P. N. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimento de argamassa.** 2005. Tese (Doutorado em Engenharia/Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. Influência da seqüência de misturas nas propriedades reológicas de argamassas avaliadas por squeeze-flow. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 158-179.

ARAÚJO, G. S. **Estudo dos parâmetros texturais das areias para argamassas de revestimento através da análise de imagem.** 2001. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 780 – 10; Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry.** Philadelphia, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578: Cimento Portland Composto.** Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_. **NBR 11579: Determinação da finura por meio da peneira 75µm (200).** Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_. **NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da retenção de água.** Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_. **NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_. NBR 13281: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_. NBR 13528: **Argamassa para revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência de aderência à tração.** Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_. NBR 13529: **Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – terminologia.** Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_. NBR 13530: **Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – classificação.** Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_. NBR 15259: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da absorção de água e do coeficiente de capilaridade.** Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_. NBR 15839: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – caracterização reológica pelo método squeeze-flow.** Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_. NBR 5734: **Peneiras para ensaio com telas de tecido metálico: método de ensaio – Especificação.** Rio de Janeiro, 1988.

\_\_\_\_. NBR 7200: **Execução de revestimento de paredes e tetos com argamassas inorgânicas.** Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_. NBR 7211: **Agregados para concreto – especificação.** Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_. NBR 7224: **Cal hidratada para argamassas – determinação da superfície Blaine.** Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_. NBR 7224: **Cal hidratada para argamassas – determinação da superfície Blaine.** Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_. NBR 7389: **Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto.** Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_. NBR 7809: **Agregado graúdo: determinação do índice de forma pelo método do paquímetro.** Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_. NBR 8490: **Argamassas endurecidas para alvenaria estrutural – retração por secagem.** Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_. NBR 8802: **Concreto endurecido – determinação da velocidade de onda ultrassônica.** Rio de Janeiro, 1994.

- \_\_\_\_. NBR 9935: **Agregados – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_. NBR 9935: **Agregados – Terminologia**. Rio de Janeiro, 1987.
- \_\_\_\_. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecido – determinação da absorção de água, índices de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_. NBR 9779: **Argamassa e concreto endurecido – determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro, 1995.
- \_\_\_\_. NBR NM 23: **Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2001.
- \_\_\_\_. NBR NM 45: **Agregados – Determinação da densidade de massa e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.
- \_\_\_\_. NBR NM 46: **Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_. NBR NM 47: **Concreto: determinação do teor de ar em concretos frescos – método pressiométrico**. Rio de Janeiro, 2002.
- \_\_\_\_. NBR NM 52: **Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_. NBR NM 53: **Teor de material fino que passa através da peneira 75µm por lavagem**. Rio de Janeiro, 2002.
- \_\_\_\_. NBR NM 76: **Cimento Portland – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método Baline)**. Rio de Janeiro, 1998.
- \_\_\_\_. NBR NM 248: **Agregados – Determinação da distribuição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- AZEREDO, G.; MOREL, J. C.; LAMARQUE, C.H. Applicability of rheometers to characterizing earth mortar behavior. Part I: experimental device and validation. **Materials and Structures**, n. 41, p. 1465 – 1472, 2008
- BANFILL, P. F. G. The reology of fresh mortat – a review. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, 1, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 73-82.
- BASTOS, P. K. X; ALTOMAR NETO, F.; CARVALHO JR, C. H.; BARROS, C. E. P. Argamassar de Revestimento compostas com areia de brita – A experiência de Juiz de Fora/MG. In: SUFFIB – SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n], 2005a. 5p.

BASTOS, S. R. B. Uso de areia artificial basáltica em substituição parcial a areia fina para produção de concretos convencionais. In: SUFFIB – SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n], 2005. 8p

BASTOS, P. K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento.** 2001. Tese (Doutorado em Engenharia/Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BAUER, E. et al. Estudo da consistência de argamassas pelo método de penetração estática de cone. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 95-105.

BONAVETTI, V. L.; IRASSAR, E. F. The effect of stone dust content in sand. **Cement and Concrete Research**, v.24, n.3, p. 580-590, 1994.

BONIM, relatório final de terminologia, **GT Argamassas Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 2009 / acesso restrito/.

BOUQUETY, M. N. et al. Experimental study of crushed aggregate shape. **Construction and Building Materials**, n. 21 , p. 865 – 872, 2007.

BRIGGS, C.; EVERTSSON, C. M. Shape potencial of rock. **Minerals Engineering**, [S.I.], v. 11, n. 2, p. 125-132, 1998

CAMPITELI, V. C.; MASSARETTO, R.; RODRIGUES, P. T. Dosagem experimental de argamassas mistas a partir de cal virgem moída. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ANTAC, 1995, p. 73-82.

CANDIA, M. C.; FRANCO, L. S. Avaliação do tipo de preparo da base nas características superficiais do substrato e dos revestimentos de argamassa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Salvador, 2000. **Anais do ENTAC 2000 - modernidade e sustentabilidade.**

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos:** Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia/Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L.M.B. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4, 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: 2001.

CARDOSO, F. A. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico. 2009.** Tese (Doutorado em Engenharia/Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R.; JOHN, V. M. Caracterização reológica de argamassas pelo método de Squeeze-Flow. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, 1, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [s.n], 2005. p. 121-143.

CARDOSO, F. A.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. Rheological behavior of mortars under different squeezing rates. **Cement and Concrete Research**, n. 39, p. 748 - 753, 2009

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades das argamassas compostas a partir de curvas granulométricas. 1999.** Tese (Doutorado em Engenharia/Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CARR, J. R.; NORRIS, G. M.; NEWCOMB, D. E.; Characterization of aggregate shape using fractal dimension. **Transportation Research Record**, Washington, n. 1278, p. 43-50, 1990.

CASCUDO, O.; CARASEK, H.; CARVALHO, A. Controle de argamassas industrializadas em obra por meio do método de penetração do cone. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6.; 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 83-94.

CARVALHO JR., A. N.; BRANDÃO, P. R. G.; FREITAS, J. M. C. Relação entre a resistência de aderência de revestimento de argamassa e o perfil de penetração de pasta de aglomerante nos poros do bloco cerâmico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005.

CHAVES, A. P. Estado da arte da produção de areia de britagem. In: SUFFIB – SEMINÁRIO: USO DA FRAÇÃO FINA DE BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n], 2005.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. (Boletim Técnico 68).

CORTES, D. D. et al. Rheological and mechanical properties of mortars prepared with manufactured sands. **Cement and Concrete Research**, n. 38, p. 1142 - 1147, 2008

COSTA, M. R. M. M. **Análise comparativa de argamassas colantes de mercado através de parâmetros reológicos. 2006.** Tese (Doutorado em Engenharia/Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CUCHIERATO, G.; SBRIGHI NETO, C; QUITETE, E. B. A revisão das normas ABNT de agregados: NBR 7211 e NBR 9935 – Quais as alterações nas terminologias e especificações para os finos de pedreiras. In: SUFFIB – SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anuais...** São Paulo: [s.n], 2005. 4p.

CUCHIERATO, G.; SANT'AGOSTINO, L. M. Pó de pedra: produção na região metropolitana de São Paulo (RMSP) e principais características, In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43, 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: IBRACON, 2000. 2p.

D'AGOSTINO, L. Z. **Uso de finos de pedreira no processo de argamassas de assentamento. 2004.** Dissertação (Mestrado em Engenharia/Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

D'AGOSTINHO, L. Z.; SOARES, L.; D'AGOSTINHO, L. F. Preparo de argamassas utilizando a fração fina da britagem de rochas. In: SEMANA IBERO-AMERICANA DE ENGENHARIA DE MINAS, 1, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n], 2004. p.27-32.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Anuário Mineral Brasileiro.** Brasília: DNPM, 2009.

ENGMANN, J.; SERVAIS, C.; BURBIDGE, A.S. Squeeze flow theory and applications to rheometry: A review. **Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics**, n. 132, p. 1-27, 2005.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução.** São Paulo, PINI, 1994.

FREITAS, C. **Argamassas de revestimento com agregados miúdos de britagem de região metropolitana de Curitiba: Propriedades no estado fresco e endurecido.** 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Pará, 2010.

GONÇALVES, J. P. et al. Comparison of AN and manufactured fine aggregates in cement mortars. **Cement and Concrete Research**, n. 37, p. 924- 932, 2007.

ISAIA, Geraldo S. **Pesquisa sobre o cobrimento da armadura das estruturas de concreto.** Santa Maria/RS, 2002.

ISHIKAWA, P. H.; CAMARINI, G. Comportamento da areia artificial, de origem granítica, na argamassa para assentamento de bloco de concreto simples para alvenaria. In: SUFFIB – SEMINÁRIO: Uso da Fração Fina da Britagem, 2, 2005, São Paulo. **Anais...**São Paulo: ANTAC, 2005. p. 47-62.

JOHN, V. M. Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5, 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2003. p. 47-62.

LARA, D.; NASCIMENTO, O.; MACEDO, A.; GALLO, G.; PEREIRA, L.; POTY, E. Dosagem das argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1, 1995, Goiânia. **Anais...**Goiânia: ANTAC, 1995. p.63-72.

LI, L.; CHAN, P.; ZOLLINGER, D. G.; LYTTON, R. L. Quantitative Analysis of Aggregate Shape Based of Fractals. **ACI Materials Journal**, [S.I.], v90, n.4, p.357-365, julho - agosto 1993.

LOPES, L. S. **Caracterização de areia artificial proveniente de resíduos da britagem de rochas magmáticas da região de Erechim. 2002.** Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2002.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008.

MENDES, K.S. **Viabilidade do emprego de finos de basalto em concreto compactado a rolo. 1999.** Dissertação (Mestrado em Engenharia/Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

METSO MINERALS. **Britagem.** (s.d.). Disponível em: <<http://www.metsominerals.com.br>>, Acesso em: maio, 2010.

NIEBEL, P. R.; CAMPITELI, V. C. Avaliação no desempenho no estado fresco de argamassas com agregados miúdos britado utilizando curvas granulométricas parabólicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 8, 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBTA, 2009.

NOGUEIRA, M. C. D.; DIAS, G. P.; SANTOS, J. B.; BARROSO, E. V. Comparando argamassas produzidas com areias fluviais e com finos de pedreiras. In: SUFFIB – SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n], 2005. 5p.

OHASHI, T. Maior planta de areia de britagem no Brasil. In: SUFFIB – SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n], 2005. 2p.

OLSEVSKI, N.; COSTA, L. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; RUIZ, H. A.; ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Revista brasileira Ci. Solo**, p. 901-910, 2004.

ÖSKAN, N.; OYSU, C.; BRISCOE, B. J.; AYDIN, I. Rheological Analysis of Ceramic Pastes. **Journal of the European Ceramic Society**, [S.I.], v. 19, p. 2883-2891, 1999.

PAES, I. N. L. **Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassas nos momentos iniciais pós aplicação.** 2004. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

PAIVA, H. et al. Effects of a water-retaining agent on the rheological behavior of a single-coat render mortar. **Cement and Concrete Research**, n. 36, p. 1257 - 1262, 2006.

PANDOLFELLI, V.C.; OLIVEIRA, I. R.; STUDART, A.R.; PILLEGI, R.G. **Dispersão e empacotamento de partículas – princípios e aplicações em processamento cerâmico.** Fazendo Arte Editorial, 2000. 195p.

PANDOLFO, L. M.; MASUERO, A. B. Características das Areias de Basalto que Influenciam nas Propriedades das Argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6, INTERNACIONAL SYMPOSIUM. ON MORTARS TECHNOLOGY, 1, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005.

PANDOLFO, L. M.; MASUERO, A. B.; PANDOLFO, A.; TIECHER, F. Avaliação da argamassa de revestimento confeccionada com areia artificial e areia AN. In: VIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCION – X CONGRESO DE CONTROL D CALIDAD EM LA CONSTRUCCIÓN, 2005, Asunción/Paraguai. **Anais...**Control de Calidad, 2005. v. 1, p. 49-56.

PAUL K, P. et al.. **An alternative to AN sand.** Kerala, Índia, 2003. 137 f. Monografia (B. Tech. degree in Civil Engineering) – Departament of Civil Engineering, Mahatma Gandhi University.

PILEGGI, Rafael G. **Ferramentas para o estudo e desenvolvimento de concretos refratários.** 2001. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001.

POVOAS, Y. V. **Avaliação da formação de “película” na argamassa colante e sua influência na adesão.** 2005. Tese (Doutorado em Engenharia/Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ROMANO, R. C. O.; SCHREURS, H; SILVA, F. B.; CARDOSO, F. A.; BARROS, M. M. S. B.; PILEGGI, R. G.; JOHN, M. V. Sensibilidade de argamassas de revestimento ao procedimento de mistura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 8, 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBTA, 2009.

SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa.** São Paulo: O nome da Rosa, 2000.

SAMPAIO, R. G.; BASTOS, P. K. X. Estudo da granulometria de areia de britagem para argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VIII., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2009. p. 52-53.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento portland e cal para revestimento externo de fachada dos edifícios. 1989.** Dissertação (Mestrado em Engenharia/Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SEFFF, L. et al. Mortar composition defined according to rheometer and flow table tests using factorial designed experiments. **Construction and Building Materials**, n. 23, p. 3107 - 3111, 2009.

SCARTEZINI, L.M.B. **Influência do tipo de preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassa: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca. 2002.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Goiás, Goiânia, 2002.

SILVA, N.G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária. 2006.** Dissertação (Mestrado em Engenharia/Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVA, V.S.; LIBÓRIO, J. B. L. Análise microestrutural da interface chapisco/argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 487-496.

SILVA, N. G; BUEST, G.; CAPITELI; V. Argamassas com areia britada: Influência dos finos e da forma das partículas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005.

SOUSA, G.G.J. **Contribuição ao estudo das propriedades das argamassas de revestimento no estado fresco, 2005.** Tese (Em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

TRISTÃO, F. A. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento. 2005.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

TOUTOU, Z.; ROUSSEL, N.; LANOS, C. The squeezing test: a tool to identify firm cement-based material's rheological behavior and evaluate their ability. **Cement and Concrete Research**, n. 35, p. 1891 - 1899, 2005

TRISTÃO, F. A. **Influência da distribuição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento. 219f.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

TRISTÃO, Fernando A. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento.** 286 f. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005

VALVERDE, F. M. **Agregados para construção civil.** In: DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, Sumário mineral. v.21. São Paulo: DNPM, 2001.

VASCO, C.; COSTA, M. R. M. e SILVA N. G. Comparativo do comportamento reológico de argamassas industrializada de revestimento da região Sul do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 8, 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBTA, 2009.

---

## APÊNDICES

---

---

## **APÊNDICE A**

### **Distribuição granulométrica dos agregados**

---

**Tabela A1 - Distribuição granulométrica da AN.**

Peneira		Porcentagem em peso	
Série Normal	Série Intermed.	Retida	Acumulada
	12,5	0	0
9,5		0	0
	6,3	1	1
4,8		2	3
2,4		7	10
1,2		10	20
0,6		17	37
0,3		36	73
0,15		23	96
	0,075	3	99
Fundo		1	100

**Tabela A2 - Distribuição granulométrica da ABVSI.**

Peneira		Porcentagem em peso	
Série Normal	Série Intermed.	Retida	Acumulada
	12,5	0	0
9,5		0	0
	6,3	0	0
4,8		1	1
2,4		21	22
1,2		24	46
0,6		20	66
0,3		18	84
0,15		8	92
	0,075	4	96
Fundo		4	100

**Tabela A3 - Distribuição granulométrica da ABM.**

Peneira		Porcentagem em peso	
Série Normal	Série Intermed.	Retida	Acumulada
	12,5	1	1
9,5		6	7
	6,3	15	22
4,8		10	32
2,4		22	54
1,2		16	70
0,6		9	79
0,3		6	85
0,15		5	90
	0,075	4	94
Fundo		6	100

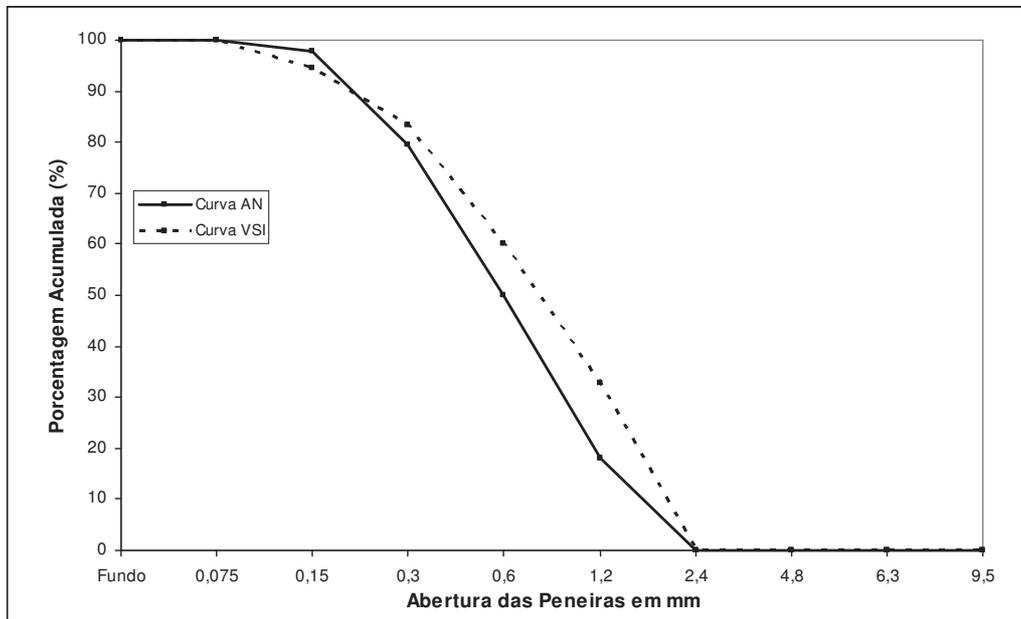
---

## **APÊNDICE B**

### **Distribuição granulométrica das areias utilizadas como referência**

---

**Figura B1** - Distribuição granulométrica das areias utilizadas como referência: AN e VSI.



---

## **APÊNDICE C**

### **Distribuição granulométrica do fíler da areia ABVSI**

---

Tabela C1 - Distribuição granulométrica do fíler da areia ABVSI.

Sample Ref	: filer de areia basáltica	Ultrasounds	: 60 s
Type produit	: filer de areia basáltica	Concentration	: 144
Client	:	Diameter at 10%	: 3.24 mu
Comments	:	Diameter at 50%	: 27.25 mu
Liquid	: Agua	Diameter at 90%	: 61.58 mu
Dispersing agent	: Nenhum	Mean diameter	: 30.52 mu
Operator	: Jaqueline	Fraunhofer	
Company	:	Density/Factor	-----
Location	:	Specific surface	-----
Date : 23/03/2011	Time : 13:55:14	Automatic dilution	: No / No
Index meas.	: 511	Meas./Rins.	: 60/60/4
		SOP	: Padrão LAPROM

		Standards classes									
		in volume / undersize									
x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	
Q3	0.06	0.19	0.30	0.60	0.91	1.21	1.50	1.80	2.12	2.46	
q3	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	0.14	0.17	
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	
Q3	2.81	3.16	3.51	3.87	4.22	4.58	5.28	5.97	6.63	7.27	
q3	0.20	0.22	0.25	0.28	0.29	0.33	0.35	0.39	0.42	0.45	
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	
Q3	7.87	8.44	8.97	9.47	9.92	10.36	10.78	11.18	11.57	12.15	
q3	0.46	0.48	0.48	0.49	0.47	0.49	0.49	0.50	0.51	0.54	
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	
Q3	12.72	13.46	14.00	14.54	15.25	16.12	16.98	17.83	18.69	19.55	
q3	0.57	0.60	0.62	0.66	0.69	0.73	0.78	0.83	0.90	0.95	
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	
Q3	20.41	22.13	23.84	25.54	27.22	28.89	30.56	32.23	33.89	35.55	
q3	1.01	1.10	1.21	1.31	1.41	1.51	1.63	1.74	1.84	1.95	
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00	
Q3	37.20	38.84	40.46	42.06	43.63	46.67	51.05	53.89	56.66	59.37	
q3	2.05	2.15	2.23	2.31	2.37	2.45	2.60	2.77	2.88	3.00	
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	
Q3	62.03	64.64	67.20	70.97	73.43	79.42	82.67	85.59	88.89	90.97	
q3	3.13	3.24	3.35	3.50	3.64	3.82	3.75	3.56	3.21	2.86	
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0	
Q3	92.75	95.10	96.50	97.80	98.70	99.29	99.64	99.84	100.00	100.00	
q3	2.57	2.16	1.72	1.35	1.00	0.69	0.43	0.26	0.09	0.00	
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0	
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0	
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

x : diameter / mu Q3 : cumulative value / % q3 : population density / %

---

## **APÊNDICE D**

**Ensaio realizado nas argamassas no estado fresco na distribuição granulométrica da AN**

---

**Tabela D1** - Ensaio realizados nas argamassas no estado fresco na distribuição granulométrica da AN.

Argamassas	Teor de água (%)	IC (mm)	Penetração de cone (mm)	Retenção de água (%)	Densidade de massa no estado fresco (Kg/m <sup>3</sup> )
AN	15,4	264	50	89	2046
ANF1,5	15,0	262	46	92	2078
ANF6	14,8	260	45	95	2096
ANF10	14,0	258	44	98	2113
ABVSI	15,4	195	25	-	1967
ABVSIF1,5	15,0	175	21	-	2006
ABVSIF6	14,8	169	13	-	2034
ABVSIF10	14,0	160	7	-	2059
ABM	15,4	159	10	-	1822
ABMF1,5	15,0	143	9	-	1840
ABMF6	14,8	138	8	-	1909
ABMF10	14,0	134	7	-	1947

---

## APÊNDICE E

Ensaio realizados nas argamassas no estado endurecido na distribuição granulométrica da AN

---

Tabela E1 - Ensaio realizados nas argamassas no estado endurecido na distribuição granulométrica da AN.

Argamassas	Densidade de massa no estado endurecido (Kg/m <sup>3</sup> )	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	Retração linear (mm)	Comprimento das fissuras (Bloco BbSi)	Comprimento das fissuras (Bloco BaSi)
AN	1887	3,4	2,0	5875	0,504	6,80 cm	11,40 cm
ANF1,5	1897	3,6	2,1	6932	0,513	8,45 cm	10,23 cm
ANF6	1935	3,9	2,2	8744	0,553	8,68 cm	9,95 cm
ANF10	1943	4,3	2,7	9181	0,610	10,35 cm	7,56 cm
ABVSI	1808	3,2	1,3	5502	0,266	8,27 cm	9,24 cm
ABVSIF1,5	1825	3,5	1,6	6650	0,295	9,49 cm	10,26 cm
ABVSIF6	1878	3,8	1,7	7412	0,398	10,95 cm	17,73 cm
ABVSIF10	1892	3,9	2,0	7547	0,637	-	-
ABM	1652	1,8	1,3	5214	0,214	-	-
ABMF1,5	1659	2,3	1,4	5738	0,359	-	-
ABMF6	1662	2,5	1,4	7066	0,389	-	-
ABMF10	1666	3,0	1,4	7150	0,414	-	-

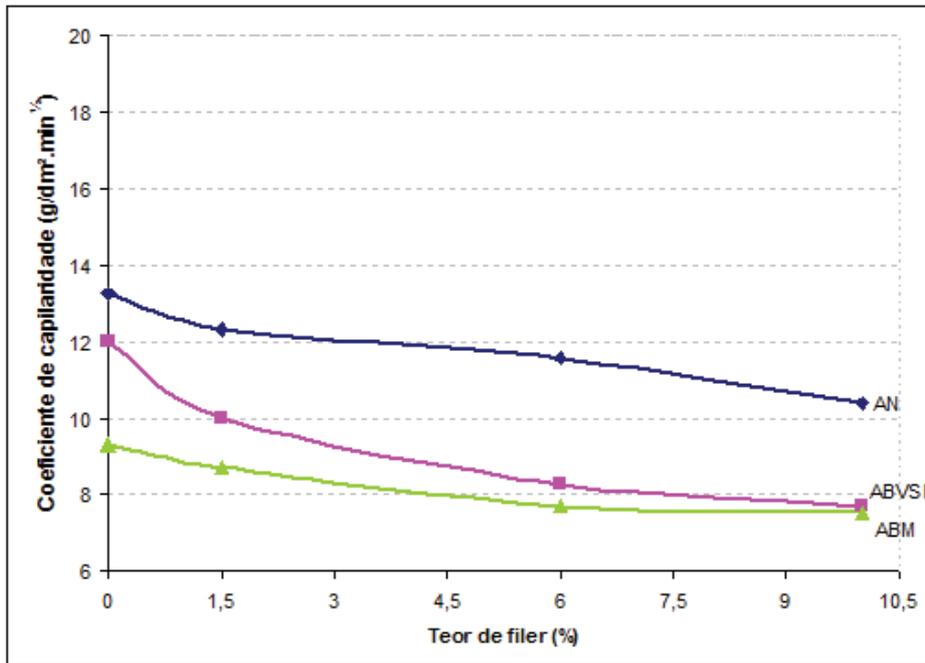
---

## APÊNDICE F

**Coefficiente de capilaridade e absorção de água por capilaridade das argamassas na distribuição granulométrica da AN**

---

**Figura F1** - Coeficiente de capilaridade das argamassas na distribuição granulométrica da AN



**Tabela F2 -** Tabela do ensaio de absorção de água por capilaridade das argamassas, na distribuição granulométrica da AN, no período de: 1 minuto até duas horas.

Argamassas	Tempo <sup>12</sup>																											
	1	1,41	1,73	2	2,24	3,16	3,87	4,47	5	5,48	5,92	6,32	6,71	7,07	7,42	7,75	8,06	8,37	8,68	8,94	9,22	9,40	9,75	10	10,25	10,40	10,72	10,95
AN	0,20	0,26	0,31	0,35	0,39	0,51	0,62	0,70	0,77	0,84	0,89	0,95	1,00	1,04	1,09	1,12	1,17	1,20	1,24	1,28	1,31	1,34	1,37	1,40	1,43	1,46	1,48	1,50
ANF1,5	0,15	0,20	0,25	0,29	0,32	0,44	0,53	0,61	0,67	0,73	0,80	0,84	0,88	0,93	0,97	1,01	1,05	1,08	1,12	1,15	1,18	1,21	1,23	1,27	1,30	1,32	1,35	1,37
ANF6	0,18	0,24	0,29	0,33	0,36	0,48	0,57	0,65	0,71	0,78	0,81	0,86	0,90	0,95	0,98	1,02	1,05	1,09	1,12	1,17	1,18	1,20	1,23	1,26	1,29	1,31	1,33	1,35
ANF10	0,11	0,15	0,19	0,21	0,23	0,33	0,41	0,47	0,53	0,58	0,63	0,67	0,71	0,75	0,78	0,82	0,85	0,87	0,91	0,93	0,96	0,98	1,01	1,03	1,05	1,08	1,10	1,12
ABV81	0,18	0,25	0,30	0,35	0,38	0,58	0,68	0,70	0,77	0,84	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,14	1,18	1,22	1,30	1,46	1,50	1,50	1,59	1,69	1,69	1,68	1,71	1,74
ABVSF1,5	0,33	0,39	0,43	0,45	0,50	0,53	0,59	0,77	0,85	0,99	1,04	1,19	1,25	1,37	1,43	1,46	1,49	1,53	1,55	1,57	1,59	1,62	1,65	1,67	1,70	1,73	1,75	1,77
ABVSF6	0,14	0,19	0,22	0,25	0,27	0,36	0,42	0,48	0,52	0,56	0,60	0,64	0,67	0,70	0,72	0,75	0,78	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99
ABVSF10	0,75	0,81	0,85	0,88	0,90	0,98	1,04	1,08	1,13	1,17	1,20	1,22	1,24	1,28	1,29	1,32	1,36	1,37	1,38	1,41	1,43	1,46	1,47	1,48	1,51	1,52	1,53	1,55
ABM	0,54	0,62	0,68	0,72	0,75	0,85	0,93	0,99	1,04	1,08	1,12	1,16	1,20	1,23	1,25	1,29	1,32	1,35	1,37	1,39	1,42	1,43	1,46	1,46	1,50	1,53	1,54	1,56
ADM1,5	0,65	0,71	0,75	0,79	0,79	0,89	0,96	1,02	1,06	1,10	1,14	1,17	1,21	1,20	1,27	1,29	1,32	1,34	1,37	1,38	1,41	1,43	1,46	1,47	1,49	1,51	1,53	1,55
ADM6	0,91	0,90	0,91	0,90	1,00	1,11	1,18	1,23	1,28	1,32	1,38	1,41	1,44	1,46	1,50	1,53	1,56	1,59	1,61	1,64	1,65	1,68	1,70	1,71	1,73	1,76	1,77	1,80
ADM10	0,78	0,87	0,92	0,95	0,98	1,10	1,16	1,21	1,27	1,32	1,38	1,44	1,49	1,55	1,60	1,66	1,72	1,77	1,83	1,88	1,91	1,94	1,97	1,99	2,00	2,03	2,02	2,04

---

## **APÊNDICE G**

**Forma de ruptura e resistência de aderência à tração das argamassas  
confeccionada na distribuição granulométrica da AN**

---



---

## **APÊNDICE H**

**Ensaio realizado nas argamassas no estado fresco na distribuição granulométrica da ABVSI**

---

**Tabela H1** - Ensaios realizados nas argamassas no estado fresco na distribuição granulométrica da ABVSI.

<b>Argamassas</b>	<b>Teor de água (%)</b>	<b>IC (mm)</b>	<b>Penetração de cone (mm)</b>	<b>Retenção de água (%)</b>	<b>Densidade de massa no estado fresco (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
ABVSI#VSI	17	260	51	97	2038
ABVSI#1,5#VSI	17,6	259	51	97	2091
ABVSI#6#VSI	17,3	259	51	99	2120
ABVSI#10#VSI	16,5	259	48	99	2128
AN#VSI	17	297	73	96	1947
AN#1,5#VSI	17,6	328	80	96	2009
AN#6#VSI	17,3	336	83	96	2057
AN#10#VSI	16,5	345	88	98	2098

---

## **APÊNDICE I**

**Ensaio realizados nas argamassas no estado endurecido na distribuição granulométrica da ABVSI**

---

**Tabela II** - Ensaios realizados nas argamassas no estado endurecido na distribuição granulométrica da ABVSI.

Argamassas	Densidade de massa no estado endurecido (Kg/m <sup>3</sup> )	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	Retração linear (mm)	Comprimento (Blocos BbSi)	Comprimento (BaSi)
ABVSI#VSI	1839	2,6	1,7	4831	0,3450	13,70 cm	11,72 cm
ABVSI#1,5#VSI	1876	2,6	1,7	4896	0,3712	13,09 cm	16,04 cm
ABVSI#6#VSI	1888	2,7	1,8	6294	0,3998	7,40 cm	16,78 cm
ABVSI#10#VSI	1893	2,8	1,8	6887	0,4460	5,73 cm	17,50 cm
AN#VSI	1540	1,7	1,5	4869	0,3070	-	-
AN#1,5#VSI	1585	2,0	1,6	5689	0,3220	-	-
AN#6#VSI	1803	2,2	1,6	6439	0,3334	-	-
AN#10#VSI	1833	2,2	1,6	6755	0,8376	-	-

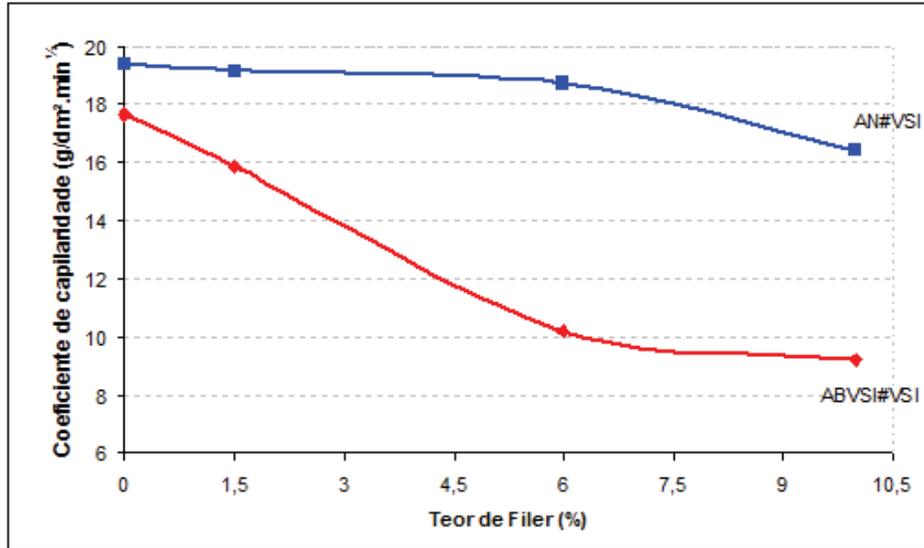
---

## APÊNDICE J

Coefficiente de capilaridade e absorção de água por capilaridade das argamassas na distribuição granulométrica da ABVSI

---

**Figura J1** - Coeficiente de capilaridade das argamassas confeccionadas na distribuição granulométrica da ABVSI.



**Tabela J2** - Ensaio de absorção de água por capilaridade das argamassas, na distribuição granulométrica da ABVSI, no período de: 1 minuto até duas horas.

Argamassas	Tempo <sup>1/2</sup>																											
	1	1,41	1,73	2	2,24	3,16	3,87	4,47	5	5,48	5,92	6,32	6,71	7,07	7,42	7,75	8,06	8,37	8,66	8,94	9,22	9,49	9,75	10	10,25	10,49	10,72	10,95
ABVSI#1SI	0,19	0,27	0,33	0,37	0,41	0,58	0,70	0,81	0,89	0,98	1,06	1,12	1,18	1,24	1,29	1,34	1,39	1,43	1,48	1,52	1,56	1,60	1,64	1,68	1,72	1,75	1,79	1,82
ABVSI#1,5SI	0,26	0,36	0,41	0,47	0,50	0,69	0,84	0,96	1,06	1,16	1,23	1,31	1,39	1,45	1,52	1,58	1,64	1,69	1,75	1,79	1,85	1,89	1,94	1,99	2,02	2,07	2,11	2,15
ABVSI#2SI	0,35	0,45	0,52	0,57	0,62	0,79	0,93	1,04	1,15	1,23	1,31	1,38	1,45	1,52	1,57	1,64	1,69	1,74	1,79	1,84	1,88	1,93	1,97	2,01	2,05	2,09	2,13	2,17
ABVSI#2,5SI	0,31	0,40	0,47	0,52	0,56	0,75	0,89	1,00	1,10	1,19	1,27	1,35	1,42	1,48	1,54	1,60	1,65	1,71	1,76	1,81	1,85	1,90	1,95	1,99	2,04	2,08	2,12	2,17
AN#1SI	0,24	0,34	0,37	0,44	0,48	0,66	0,77	0,87	0,96	1,03	1,11	1,17	1,23	1,29	1,34	1,39	1,44	1,49	1,53	1,57	1,61	1,65	1,69	1,72	1,76	1,80	1,83	1,86
AN#1,5SI	0,24	0,32	0,39	0,44	0,39	0,64	0,77	0,88	0,98	1,07	1,15	1,21	1,28	1,34	1,41	1,46	1,51	1,56	1,61	1,66	1,70	1,74	1,79	1,83	1,87	1,91	1,94	1,98
AN#2SI	0,29	0,40	0,47	0,53	0,57	0,77	0,92	1,04	1,15	1,25	1,33	1,40	1,48	1,54	1,61	1,67	1,72	1,78	1,83	1,89	1,93	1,98	2,03	2,07	2,11	2,16	2,20	2,24
AN#2,5SI	0,31	0,40	0,47	0,53	0,59	0,83	0,95	1,06	1,17	1,26	1,35	1,44	1,51	1,58	1,64	1,72	1,77	1,83	1,88	1,92	1,97	2,01	2,05	2,08	2,10	2,13	2,16	2,18

---

## **APÊNDICE L**

**Forma de ruptura e resistência de aderência à tração das argamassas  
confeccionada na distribuição granulométrica da ABVSI**

---

**Tabela L1** - Resistência de aderência à tração e forma de ruptura das argamassas aplicadas nos blocos BbSi (queimados a 700°C)

Argam.	Ader. (MPa)	Forma de Ruptura (%)						
		Sub	Subs/ chap	Chap.	Chap./ arg.	Arg.	Arg./ cola	Cola/ past.
ABVSI#VSI	0,42	18	0	0	18	64	0	0
ABVSIF1,5#VSI	0,40	42	0	0	0	58	0	0
ABVSIF6# VSI	0,36	0	0	0	0	73	27	0
ABVSIF10#VSI	0,35	25	0	0	50	25	0	0

**Tabela L2** - Resistência de aderência à tração das argamassas aplicadas nos blocos BaSi (queimados a 1000°C)

Argam.	Ader. (MPa)	Forma de Ruptura (%)						
		Sub	Subs/ chap	Chap.	Chap./ arg.	Arg.	Arg./ cola	Cola/ past.
ABVSI#VSI	0,45	0	0	0	17	83	0	0
ABVSIF1,5#VSI	0,41	0	0	0	58	42	0	0
ABVSIF6# VSI	0,39	0	0	0	50	50	0	0
ABVSIF10#VSI	0,38	0	0	0	83	8	8	0